

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ
ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Η χρησιμοποίηση των ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων στις ιχθυοτροφές
των εκτρεφόμενων ειδών ιχθύων. Εξεύρεση εναλλακτικών συστατικών
για την υποκατάσταση/αντικατάσταση αυτών**

ΘΕΟΔΩΡΑ ΚΑΡΑΒΕΛΑ

ΒΟΛΟΣ 2016

**«Η χρησιμοποίηση των ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων στις ιχθυοτροφές των
εκτρεφόμενων ειδών ιχθύων. Εξεύρεση εναλλακτικών συστατικών για την
υποκατάσταση/αντικατάσταση αυτών»**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

- 1) **Ιωάννης Καραπαναγιωτίδης**, Επίκουρος Καθηγητής, Διατροφή Υδρόβιων Ζωϊκών Οργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Επιβλέπων***
- 2) **Παναγιώτα Παναγιωτάκη**, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Υδατοκαλλιέργειες, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος***.
- 3) **Έλενα Μεντέ**, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Φυσιολογία Θρέψης Υδρόβιων Ζωϊκών Οργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος***.

*Αφιερώνεται στους γονείς μου για την υπέρμετρη
υπομονή τους και την αγάπη τους*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου και του ιχθυελαίου στις ιχθυοτροφές θα συμβάλλει στην αειφορία και στην οικονομική ευρωστία του κλάδου των υδατοκαλλιεργειών. Η διερεύνηση των ποσοστών αντικατάστασης αυτών των φυσικών πόρων στις ιχθυοτροφές είναι αναγκαία για την επίτευξη της βιωσιμότητας του κλάδου. Οι υδατοκαλλιεργείες συμβάλλουν σημαντικά στον πρωτογενή τομέα της χώρας μας. Από δεκαετίες παρατηρείται σημαντική ενασχόληση με την εκτροφή ψαριών και αυτό λόγω των καλών κλιματολογικών συνθηκών, της εκτεταμένης και προστατευόμενης ακτογραμμής, της τεχνολογικής ανάπτυξης σε τομείς όπως η διατροφή και η αναπαραγωγή των ψαριών, αλλά και λόγω των Διεθνών και Ευρωπαϊκών χρηματικών επενδύσεων στον τομέα αυτό.

Λέξεις κλειδιά: ιχθυάλευρα, ιχθυέλαια, ιχθυοτροφές

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1. Ο ΚΛΑΔΟΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ	2
1.1 Οι υδατοκαλλιέργειες σε παγκόσμιο επίπεδο	2
1.2 Ο κλάδος των υδατοκαλλιέργειών	4
1.3. Οι υδατοκαλλιέργειες σε Ευρώπη και Μεσόγειο.....	6
1.4. Οι υδατοκαλλιέργειες στην Ελλάδα.....	9
2. ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΣΤΙΣ ΙΧΘΥΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	17
2.1. Ο ρόλος της διατροφής στις ιχθυοκαλλιέργειες.....	17
2.2 Θρεπτικές απαιτήσεις σε πρωτεΐνες και αμινοξέα	19
2.3 Θρεπτικές απαιτήσεις σε ενέργεια	21
2.4 Θρεπτικές ανάγκες σε λιπίδια και λιπαρά οξέα	23
2.5. Παραγωγή ιχθυοτροφών	26
2.6. Με τι είδους τροφές τρέφονται τα ψάρια ιχθυοκαλλιέργειας	27
3. ΙΧΘΥΑΛΕΥΡΑ ΚΑΙ ΙΧΘΥΕΛΑΙΑ	29
3.1 Γενικά	29
3.2 Τα Ιχθυάλευρα.....	29
3.3 Η παρασκευή του ιχθυάλευρου	30
3.4 Τα Ιχθυέλαια.....	34
3.5 Η χρησιμοποίηση ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων στις ιχθυοτροφές	35
3.6 Άλευρα καρκινοειδών.....	41
4. Η ΑΝΤΙΚΑΤΑΤΑΣΤΑΣΗ ΙΧΘΥΑΛΕΥΡΟΥ ΚΑΙ ΙΧΘΥΕΛΑΙΟΥ ΜΕ ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ ΚΑΙ ΛΙΠΙΔΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ.....	42
4.1 Γενικά	42
4.2 Σογιάλευρο.....	48
4.3 Ελαιοκράμβη	50
4.4. Φοινικάλευρο.....	51
4.5. Μικροφύκη	52
4.6. Άλευρο Βαμβοκόσπορου (<i>gossypium sp.</i>).....	57
4.7. Φυστικάλευρο (<i>Arachis hypogaea</i>)	57
4.8. Ηλιόλευρο (<i>Helianthus annuus</i>).....	58

4.9. Σουσαμάλευρο (<i>Sesamum indicum</i>)	59
4.10. Άλευρο καρύδας (<i>Cocos nucifera</i>)	60
5. Η ΑΝΤΙΚΑΤΑΤΑΣΤΑΣΗ ΙΧΘΥΑΛΕΥΡΟΥ – ΙΧΘΥΕΛΑΙΟΥ ΜΕ ΠΡΩΤΕΪΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΛΙΠΙΔΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΖΩΪΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ.....	64
5.1 Γενικά	64
5.2. Συστατικά ζωικής προέλευσης	64
5.3. Παραπροϊόντα αλιείας.....	65
5.4. Παραπροϊόντα χερσαίων ζώων	65
5.5. Άλευρο προνυμφών μύγας (<i>Magmeal</i>)	66
5.6. Άλευρα από μεταποιημένες ζωικές πρωτεΐνες.....	66
5.7. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από την θρεπτική αξία των προϊόντων ζωικής προέλευσης.	69
6. ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΙΧΘΥΑΛΕΥΡΩΝ ΚΑΙ ΙΧΘΥΕΛΑΙΩΝ ΣΤΙΣ ΙΧΘΥΟΤΡΟΦΕΣ	71
6.1. Γενικά	71
6.2. Λιπαρά οξέα στη διατροφή ψαριών και αντικατάσταση λίπους στις ιχθυοτροφές..	71
6.3 Λιπαρά οξέα και ποιότητα σάρκας των ψαριών.....	82
6.4 Επιδράσεις από την αντικατάσταση του ιχθυελαίου στις αναπτυξιακές επιδόσεις...	84
6.6 Σύσταση των λιπαρών οξέων των φιλέτων των εκτρεφόμενων ιχθύων.....	90
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	96
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	97
ABSTRACT	105

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επακριβής γνώση των θρεπτικών αναγκών των ψαριών είναι απολύτως σημαντική στη εκτροφή τους. Οι διατροφικές απαιτήσεις των ψαριών όπως και όλων των υδρόβιων ζωικών οργανισμών, σχετίζονται με την επιβίωση, την ανάπτυξη, την αύξηση, την αναπαραγωγή, την υγεία και όλες τις φυσιολογικές λειτουργίες του οργανισμού. Μία πιθανή έλλειψη ενός θρεπτικού συστατικού στη διαίτα των εκτρεφόμενων ιχθύων θα προκαλέσει άμεσα τη μείωση της ανάπτυξης, μειωμένη αναπαραγωγική απόδοση, διάφορες παθολογικές καταστάσεις και πιθανόν το θάνατο.

Οι ποιοτικές θρεπτικές απαιτήσεις των ιχθύων, όπως και όλων των υδρόβιων ζωικών οργανισμών, είναι παρόμοιες με αυτές των χερσαίων ζώων. Έτσι, τα ψάρια χρειάζονται πρωτεΐνες (και συγκεκριμένα απαραίτητα αμινοξέα), λιπίδια (και συγκεκριμένα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα), ανόργανα στοιχεία και βιταμίνες για να διατηρηθούν στη ζωή, να αναπτυχθούν και να επιτελέσουν όλες τις φυσιολογικές τους λειτουργίες. Αυτά τα θρεπτικά στοιχεία παρέχονται στους εκτρεφόμενους οργανισμούς είτε από την πρόσληψη της φυσικής τροφής (υδρόβια χλωρίδα και πανίδα) είτε από την κατανάλωση προπαρασκευασμένων τροφών. Σε εκείνα τα εκτροφικά συστήματα που τα ψάρια διατηρούνται σε τεχνητά υδατοκαλλιεργητικά μέσα και υπάρχει έλλειψη της φυσικής τροφής (εντατικά συστήματα εκτροφής), η διαίτα που τους χορηγείται θα πρέπει να είναι επαρκής σε όλα τα θρεπτικά συστατικά, τόσο ποιοτικά όσο ποσοτικά.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η χρήση των ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων στην διατροφή των ψαριών σε υδατοκαλλιέργειες, τον ρόλο τους ώστε να διασφαλίζεται μια ισορροπημένη διατροφή για την ανάπτυξη των ψαριών, την επίδρασή τους, στην καλή ποιότητα του εδωδιμου φιλέτου τους, αλλά και την επιτυχία αντικατάστασης αυτών με άλλου τύπου συστατικά.

1. Ο ΚΛΑΔΟΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

1.1 Οι υδατοκαλλιέργειες σε παγκόσμιο επίπεδο

Οι υδατοκαλλιέργειες αναπτύσσονται διεθνώς με γρήγορους ρυθμούς, αξιοποιώντας χερσαίες εκτάσεις, θαλάσσιες περιοχές, τα σύγχρονα αποτελέσματα της βιοτεχνολογίας και την ανάγκη επενδύσεων σε νέους τομείς. Οι μονάδες σταδιακά αυτονομούνται, καθετοποιούν την παραγωγή τους και αποκτούν χαρακτηριστικά βιομηχανικής κλίμακας. Παράλληλα όμως, πολλές εγκαταστάσεις εκτροφής παραμένουν σε επίπεδα οικογενειακής παραγωγής εξειδικεύοντας τα προϊόντα τους ή συνδυάζοντας τις υδατοκαλλιέργειες με άλλες αγροτικές ή κτηνοτροφικές δραστηριότητες. Σύμφωνα με στοιχεία του FAO (Οργανισμός Τροφίμων & Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών, 2015) η παγκόσμια παραγωγή υδατοκαλλιεργειών αυξάνεται συνεχώς, σε ποσοστό, όχι όμως αναλογικά για όλα τα είδη ψαριών (FAO, 2014). Στην Ευρώπη συναντάμε μια μεγάλη ποικιλία υδατοκαλλιεργειών όσον αφορά στα είδη που εκτρέφονται, αλλά και στους τύπους εκτροφής. Αρχικά, αναπτύχθηκαν οι υδατοκαλλιέργειες στα εσωτερικά νερά και ακολούθησε την τελευταία 20ετία η θεαματική ανάπτυξη των θαλασσοκαλλιεργειών, σε περιορισμένο όμως αριθμό ειδών με αιχμή κυρίως τον σολομό του ατλαντικού, την τσιπούρα και το λαβράκι (Περδικάρης και συν. 2006).

Η παγκόσμια αύξηση της ζήτησης για ψάρια, βοηθάει την ραγδαία ανάπτυξη και βελτίωση της τεχνολογίας της ιχθυοκαλλιέργειας. Η στροφή των καταναλωτών σε μια πιο υγιεινή διατροφή, αυξάνει την κατανάλωση ψαριών, λόγω των θρεπτικών ωφελειών που προσφέρουν στον καταναλωτή τους. Τα ψάρια αποτελούν πλούσια πηγή πρωτεϊνών, λιπαρών οξέων (ω -3), βιταμινών (A, D, B6), ιχνοστοιχείων και άλλων

θρεπτικών συστατικών που χρειάζεται ο ανθρώπινος οργανισμός. Η σαφής αύξηση της ζήτησης οδήγησε τους κρατικούς μηχανισμούς να υποστηρίξουν τον κλάδο των ιχθυοκαλλιέργειών παγκοσμίως, με εθνικά και διεθνή προγράμματα χρηματοδότησης, που συμβάλλουν στην μείωση του κόστους παραγωγής, στη βελτίωση της ποιότητας παραγόμενου προϊόντος και κυρίως στη συνέχιση της ανάπτυξης του κλάδου (FAO, 2014). Σήμερα, οι υδατοκαλλιέργειες προσφέρουν στην (Παπουτσόγλου, 1997):

- Παραγωγή τροφίμων για τον άνθρωπο.
- Παραγωγή προϊόντων για τη βιομηχανία.
- Βελτίωση φυσικών αποθεμάτων υδρόβιων οργανισμών με τεχνητές μεθόδους.
- Παραγωγή διακοσμητικών υδρόβιων οργανισμών.
- Παραγωγή δολωμάτων για την αλιεία ιχθύων.
- Παραγωγή τροφής για τα κατοικίδια.
- Παραγωγή ιχθύων κατάλληλων για τον εμπλουτισμό φυσικών υδάτινων μαζών και την ερασιτεχνική αλιεία

Οι υδατοκαλλιέργειες παγκοσμίως είναι ο κλάδος αγροτικής παραγωγής που γνωρίζει τη μεγαλύτερη ανάπτυξη και αποτελεί ένα από τους σημαντικότερους και συγχρόνως οικονομικότερους τρόπους παραγωγής τροφίμων (FAO, 2014). Εξάλλου, η κατανάλωση ιχθύων διατηρεί ένα σημαντικό μερίδιο στην αγορά ζωικής πρωτεΐνης, της οποίας η ζήτηση αυξάνεται συνεχώς εξαιτίας των νεότερων διατροφικών απαιτήσεων των καταναλωτών σε τρόφιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες υψηλής ποιότητας, χαμηλή περιεκτικότητα σε λίπος και σχετικά μεγάλη περιεκτικότητα σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (FAO, 2014). Αυτές τις απαιτήσεις ικανοποιούν πλήρως τα ιχθυηρά, κυρίως ορισμένων ειδών ψαριών, όπως ο σολομός. Έτσι, η θαλάσσια ιχθυοκαλλιέργεια κυριαρχείται από τον σολομό του Ατλαντικού (*Salmo salar*) με

κύριους παραγωγούς την Νορβηγία, την Χιλή, το Ηνωμένο Βασίλειο, τον Καναδά και την Ιρλανδία. Όμως, σε σύνολο ειδών ψαριών, οι κυριότερες χώρες παραγωγής ψαριών σε ιχθυοκαλλιέργειες παγκοσμίως είναι η Κίνα (67% της παγκόσμιας παραγωγής) η Ινδία, το Βιετνάμ, η Ταϊλάνδη και η Ινδονησία με κυρίαρχα είδη παραγωγής τον κυπρίνο και την τιλάπια (FAO, 2014).

Κατά το 2012, ο αριθμός των ειδών που είναι καταχωρημένα στα στατιστικά στοιχεία του FAO ήταν 567, συμπεριλαμβανομένων ψαριών (354 είδη, με 5 υβρίδια), μαλάκια (102), καρκινοειδή (59), αμφίβια και ερπετά (6), υδρόβια ασπόνδυλα (9) και φύκια της θάλασσας και του γλυκού νερού (37). Εκτιμάται ότι περισσότερα από 600 υδρόβια είδη καλλιεργούνται σε όλο τον κόσμο σε μια ποικιλία συστημάτων και εγκαταστάσεων, με τη χρήση γλυκού, υφάλμυρου και θαλασσινού νερού (FAO, 2014).

1.2 Ο κλάδος των υδατοκαλλιεργειών

Η ευρωπαϊκή παραγωγή υδατοκαλλιέργειας παρέμεινε σχετικά σταθερή στους 1,2 εκατομμύρια τόνους κατά την περίοδο 1995 έως 2010, και έφτασε το 2000, με 1,4 εκατομμύρια τόνους, στο υψηλότερο επίπεδό της. Το 2002 ανερχόταν σε 1,26 εκατομμύρια τόνους, αντιπροσωπεύοντας το 20,3% της συνολικής αλιευτικής παραγωγής. Η αξία της ευρωπαϊκής παραγωγής υδατοκαλλιέργειας έφθασε τα 3,6 δισεκατομμύρια ευρώ το 2011: το 50% αυτού του αριθμού αντιστοιχούσε σε ψάρια και το 50% σε καρκινοειδή και μαλάκια. Η υδατοκαλλιέργεια στην ΕΕ εστιάζεται κατά κύριο λόγο σε τέσσερα είδη: μύδια (39% της συνολικής ποσότητας), πέστροφα (15%), σολομό (14%) και στρείδια (8%). Ωστόσο πρόοδος έχει σημειωθεί και στην παραγωγή άλλων ειδών όπως η τσιπούρα, το λαβράκι και τα κυδώνια (Ernst & Breuer, 2016).

Οι βασικοί παραγωγοί υδατοκαλλιέργειας μεταξύ των κρατών μελών της ΕΕ είναι η Ισπανία (22%), η Γαλλία (17%), το Ηνωμένο Βασίλειο (16%), η Ιταλία (13%) και η Ελλάδα (8,5%), που από κοινού αντιστοιχούσαν περίπου στο 77% της συνολικής παραγωγής υδατοκαλλιέργειας το 2011. Ωστόσο, αν ληφθεί υπόψη η ποιότητα της παραγωγής, το Ηνωμένο Βασίλειο (ΗΒ) είναι ο κύριος παραγωγός (21%) και ακολουθεί η Γαλλία (19%), η Ελλάδα (13%) και η Ισπανία (12%). Τα δίθυρα μαλάκια (μύδια, στρείδια και κυδώνια) κυριαρχούν στην Ισπανία, τη Γαλλία και την Ιταλία. Το ΗΒ παράγει κατά βάσει σολομό του ατλαντικού, ενώ η Ελλάδα παράγει κυρίως τσιπούρα και λαβράκι (Ernst & Breuer, 2016).



Εικόνα 1. Ιχθυοκλωβοί μονάδας ιχθυοκαλλιέργειας (gaiapedia1)

Η Ελλάδα κατέχει την πρώτη θέση στην Ε.Ε. στην παραγωγή θαλασσινών ειδών εντατικής εκτροφής, στηριζόμενη τόσο στην αξιοποίηση των ευνοϊκών συνθηκών των ελληνικών θαλασσών, όσο και στη διαρθρωτική πολιτική ενισχύσεων της Ε.Ε. (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Αλιείας 2007-2013).

1.3. Οι υδατοκαλλιέργειες σε Ευρώπη και Μεσόγειο

Τις τελευταίες δεκαετίες, έχει παρατηρηθεί στον ευρωπαϊκό και ιδιαίτερα στο μεσογειακό χώρο, μεγάλο ενδιαφέρον για τις υδατοκαλλιέργειες κάθε τύπου και μορφής. Οι εκτροφές αυτές αρχικά αναπτύχθηκαν στα εσωτερικά νερά ενώ τις τελευταίες δεκαετίες ακολούθησε μια θεαματική ανάπτυξη των θαλάσσιων εκτροφών σε περιορισμένο όμως αριθμό ειδών, με αιχμή κυρίως τον σολομό του ατλαντικού, την τσιπούρα και το λαβράκι (FAO, 2014). Η ελεγχόμενη εκτροφή ψαριών στην Ευρώπη θεωρείται ότι ξεκίνησε γύρω στα 1200 μ.Χ. με ψάρια του γλυκού νερού (FAO, 2014). Το 1500 μ.Χ. αρχίζει στην Ευρώπη η εκτροφή κυπρίνου, ο οποίος εισάγεται από την Κίνα. Το 1882 εισάγεται από τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής η ιριδίζουσα πέστροφα, η εκτροφή της οποίας αρχίζει ύστερα από την προσαρμογή της στις νέες συνθήκες καλλιέργειας. Από το 1900 και μετά, η ανάπτυξη των βιολογικών επιστημών και της τεχνολογίας, σε συνδυασμό με την όλο και αυξανόμενη ζήτηση σε προϊόντα υψηλής θρεπτικής αξίας, κατέστησαν τις ιχθυοκαλλιέργειες έναν σημαντικό κοινωνικο-οικονομικό παράγοντα. Στις μέρες μας, η σχετική εξάντληση ορισμένων υπερπόντιων αλιευτικών πεδίων, η καθιέρωση των ζωνών αλιείας και της οικονομικής ζώνης των 200 μιλίων από τις περισσότερες χώρες, σε συνδυασμό με την αύξηση της αγοραστικής δύναμης των καταναλωτών των ευρωπαϊκών χωρών, αλλά και η ενίσχυση της τάσης για υγιεινή διατροφή, είναι αιτίες που ώθησαν στην ανάπτυξη των υδατοκαλλιεργειών στην Ευρώπη (FAO, 2014). Οι υδατοκαλλιέργειες στην Μεσόγειο, τα τελευταία 25 χρόνια έχουν εξελιχθεί και αναβαθμιστεί τεχνολογικά, εξαιτίας κυρίως μιας σημαντικής ερευνητικής προσπάθειας στα πεδία της αναπαραγωγής, της καλλιέργειας του γόνου, της παραγωγής ιχθυοτροφών και της γενετικής μηχανικής (FAO, 2014).

Αρχικά, αναπτύχθηκαν οι υδατοκαλλιέργειες στα εσωτερικά νερά και ακολούθησε την τελευταία 20ετία η θεαματική ανάπτυξη των θαλασσοκαλλιεργειών, σε περιορισμένο όμως αριθμό ειδών με αιχμή κυρίως τον σολομό του ατλαντικού, την τσιπούρα και το λαβράκι. Η παραγωγή τσιπούρας και λαυρακιού στην Ελλάδα, που κυμαίνεται από 85.000 μέχρι 100.000 τόνους το χρόνο, αντιπροσωπεύει περίπου το 72% του συνόλου στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Ισπανία 10%, Ιταλία 14%, Γαλλία 4%) και το 57% στη Μεσόγειο, στην οποία συμπεριλαμβάνονται και χώρες που δεν είναι μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπως η Τουρκία και το Ισραήλ (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Αλιείας 2007-2013).

Η συνολική παραγωγή της τσιπούρας και του λαβρακιού στις μεσογειακές χώρες έφθασε σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις, στους 253.000 τόνους το 2010, δηλαδή το 61% για την τσιπούρα και 39% για το λαβράκι. Σύμφωνα με τις προβλέψεις του (FAO), η παγκόσμια κατανάλωση ψαριών και γενικώς των θαλασσινών προβλέπεται να εξακολουθήσει να αυξάνεται, με αποτέλεσμα την υπεραλίευση και την πτώση των ορίων των αλιευτικών αποθεμάτων. Κατά συνέπεια, παρόλο που η αλιεία θα εξακολουθήσει να παρέχει μεγάλο μέρος των αλιευμάτων που απαιτούνται για την κάλυψη της παγκόσμιας κατανάλωσης, η αύξηση της ζήτησης δεν είναι δυνατό να καλυφθεί αποκλειστικά από άγρια ψάρια. Αυτά τα δεδομένα οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η ευρωπαϊκή υδατοκαλλιέργεια έχει δυνατότητα να αναπτυχθεί περαιτέρω μελλοντικά. Γι' αυτό και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, ήδη από το 2002, εγκαινίασε την πρώτη στρατηγική για τη βιώσιμη ανάπτυξη της ευρωπαϊκής υδατοκαλλιέργειας, η οποία συνεισέφερε σε μεγάλο βαθμό στη διασφάλιση της οικονομικής βιωσιμότητας, της ασφάλειας και της ποιότητας της ευρωπαϊκής παραγωγής υδατοκαλλιεργειών. Σήμερα, η πλειονότητα των μέτρων που περιέχονται στη στρατηγική αυτή και

εμπίπτουν στην αρμοδιότητα των ευρωπαϊκών δημόσιων αρχών έχουν ήδη τεθεί σε εφαρμογή. Είναι λοιπόν αναγκαίο να γίνουν νέα βήματα προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις που τίθενται στην ευρωπαϊκή υδατοκαλλιέργεια. Αυτό είναι και το αντικείμενο μιας ανακοίνωσης που εγκρίθηκε το 2009 από την Επιτροπή και αφορά την ανανέωση της στρατηγικής για τη βιώσιμη ανάπτυξη της ευρωπαϊκής υδατοκαλλιέργειας (COM/2013/229). Η υγεία και η ευζωία των ζώων πρέπει να αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα της στρατηγικής για μια σύγχρονη και αποδοτική υδατοκαλλιέργεια. Αυτό είναι απαραίτητο τόσο από οικονομικής άποψης (η καλή υγεία των εκτρεφόμενων υδρόβιων οργανισμών είναι απαραίτητη για βέλτιστη ανάπτυξη και ικανοποιητική παραγωγικότητα), αλλά και από εμπορικής (καλύτερη εικόνα του κλάδου της υδατοκαλλιέργειας) και φυσικά από την άποψη της δημόσιας υγείας και της προστασίας του περιβάλλοντος (FAO, 2014).

Στην Ευρώπη οι κυριότερες χώρες παραγωγής ψαριών ιχθυοκαλλιέργειας είναι η Νορβηγία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Τουρκία, η Ελλάδα, η Ισπανία, η Ιταλία και η Γαλλία. Η συνολική παραγωγή τσιπούρας και λαβρακίου στην Ευρώπη, όσο και η παραγωγή του κάθε είδους ψαριού ξεχωριστά ακολουθεί ανοδική πορεία. Πιο συγκεκριμένα, το σύνολο της παραγωγής από 92.310 τόνους το 1999 ανήλθε σε 175.196 τόνους το 2006, παρουσιάζοντας μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 9,6%. Η Ελλάδα είναι η χώρα με τη μεγαλύτερη παραγωγή ευρύαλων ψαριών (τσιπούρας και λαβρακιού) μεταξύ των Μεσογειακών χωρών. Στον Πίνακα 1, φαίνεται η Ευρωπαϊκή παραγωγή εκτρεφόμενων ψαριών ανά χώρα, σε τόνους, 2007-2011 (Eurostat).

Πίνακας 1: Η Ευρωπαϊκή παραγωγή εκτρεφόμενων ψαριών ανά χώρα, έτη 2007-2011

	2006	2007	2008	2009	2010	2011
ΕΚΑΤΟΜΜΥΡΙΑ ΤΟΝΟΙ						
ΠΑΡΑΓΩΓΗ						
ΑΛΙΕΙΑ						
Γλυκά νερά	9.8	10.0	10.2	10.4	11.2	11.5
Θάλασσα	80.2	80.4	79.5	79.2	77.4	78.9
Σύνολο	90.00	90.3	89.7	89.6	88.6	90.4
ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ						
Γλυκά νερά	31.3	33.4	36.0	38.1	41.7	44.3
Θάλασσα	16.0	16.6	16.9	17.6	18.1	19.3
Σύνολο	47.3	49.9	52.9	55.7	59.9	63.6
ΣΥΝΟΛΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	137.3	140.2	142.6	145.3	148.5	154.0
ΧΡΗΣΗ						
Ανθρώπινη κατανάλωση	114.3	117.3	119.7	123.6	128.3	130.8
Χρήση εκτός τροφής	23.0	23.0	22.9	21.8	20.2	23.2
Πληθυσμός (δισεκατομμύρια)	6.6	6.7	6.7	6.8	6.9	7.00
Κατά κεφαλήν κατανάλωση ψαριών (kg)	17.4	17.6	17.8	18.1	18.6	18.8

Σημείωση: Τα υδρόβια φυτά δεν περιλαμβάνονται

1.4. Οι υδατοκαλλιέργειες στην Ελλάδα

Η Ελλάδα, από τον 5ο αιώνα π.Χ είναι χώρα, με μεγάλη παράδοση στην παραγωγή ιχθύων υψηλής ποιότητας. Η εντατική εκτροφή ιχθύων στην Ελλάδα είναι από τους πιο σημαντικούς τομείς της ζωικής παραγωγής με σημαντικό ποσοστό εξαγωγών της παραγόμενης ποσότητας. Σήμερα, τα ελληνικά προϊόντα ιχθυοκαλλιέργειας αναγνωρίζονται παγκοσμίως. Οι υδατοκαλλιέργειες αποτελούν έναν από τους πιο γρήγορα αναπτυσσόμενους βιομηχανικούς κλάδους στην Ελλάδα Σαράντα χρόνια πριν, οι ιχθυοκαλλιέργειες ήταν πρακτικά ανύπαρκτες, ωστόσο από το 1981 και

σαν αποτέλεσμα των καλών κλιματικών συνθηκών, των εθνικών και ευρωπαϊκών επενδύσεων στον τομέα, του καταρτισμένου ανθρώπινου δυναμικού μαζί με την επανάσταση στην τεχνολογία των εκκολαπτηρίων και της διατροφής, οι ιχθυοκαλλιέργειες γνώρισαν άνθιση (Stirling, 2004).

Στην ανάπτυξη του κλάδου στην Ελλάδα συνέβαλαν σημαντικά οι κλιματολογικές και γεωμορφολογικές συνθήκες της χώρας που ευνοούν τη καλλιέργεια ευρύαλων ψαριών, το ανθρώπινο δυναμικό, οι επιδοτήσεις που δόθηκαν από το κράτος και τα προγράμματα στήριξης της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η μείωση των αλιευτικών αποθεμάτων και οι περιορισμοί που έχουν επιβληθεί τα τελευταία χρόνια στην αλιεία. Σήμερα ο κλάδος καλύπτει πλήρως της ανάγκες της ελληνικής αγοράς και το μεγαλύτερο μέρος της παραγόμενης ποσότητας εξάγεται στις αγορές του εξωτερικού, με κυριότερες χώρες προορισμού την Ιταλία, την Ισπανία, την Γαλλία, την Τουρκία, την Αγγλία και την Πορτογαλία (Stirling, 2004). Τα ψάρια, κυρίως το λαβράκι και η τσιπούρα αποτελούν τον δεύτερο μεγαλύτερο αγροτικό τομέα εξαγωγών, μετά το ελαιόλαδο και αντιμετωπίζεται ως στρατηγικό προϊόν από την ελληνική κυβέρνηση. Η Ελληνική ιχθυοκαλλιέργεια ευρύαλων ψαριών αντιπροσωπεύει το 65% περίπου της Ευρωπαϊκής και της Μεσογειακής παραγωγής (Stirling, 2004). Η επιτυχία αυτή των υδατοκαλλιεργειών βασίζεται, κυρίως στις φυσικές συνθήκες της χώρας, όπως το ήπιο κλίμα, τα καθαρά νερά, τα περίπου 3.000 νησιά και την μεγάλη ακτογραμμή. Σήμερα, τα πιο σημαντικά εμπορικά είδη ιχθύων που εκτρέφονται και έχουν ευρεία απήχηση και αποδοχή στην ελληνική και παγκόσμια αγορά είναι η τσιπούρα, το λαβράκι και σε μικρότερες ποσότητες η πέστροφα, το ευρωπαϊκό χέλι και ο κυπρίνος (Stirling, 2004). Το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) και η τσιπούρα (*Sparus aurata*) αποτελούν το 95% περίπου της συνολικής παραγωγής στην Ελλάδα, ενώ τα υπόλοιπα είδη, λυθρίνι

(*Pagellus erythrinus*), φαγκρί (*Pagrus pagrus*), μυλοκόπι (*Umbrina Cirrosa*), μυτάκι (*Puntazzo puntazzo*) και συκιός (*Sciaena umbra*), παράγονται σε μικρότερες ποσότητες. Υπάρχει επίσης μια σημαντική παραγωγή των οστρακοειδών και δίθυρων μαλάκιων, κυρίως μύδια, μικρότερης όμως οικονομικής αξίας. Μια εκτίμηση της παραγωγής της τσιπούρας και του λαβρακιού της Ελλάδας ανέρχονταν για το 2010 στους 123.000 τόνους, εκ των οποίων 40.000 τόνοι ήταν λαβράκι και 83.000 τσιπούρα. Ο μέσος ετήσιος ρυθμός μεγέθυνσης της παραγωγής ήταν της τάξης του 7,4% από το 2000 μέχρι το 2009, και αποτέλεσε το σημαντικότερο παραγωγό τσιπούρας – λαβρακιού σε διεθνές επίπεδο, με μερίδιο 48,6% επί της συνολικής παραγωγής. Η θέση της Ελλάδας στην παραγωγή τσιπούρας ήταν ισχυρότερη, όπου συγκέντρωσε και το 54% περίπου της διεθνούς παραγωγής. Επιπλέον, αποτέλεσε το μεγαλύτερο εξαγωγέα τσιπούρας και λαβρακιού σε παγκόσμιο επίπεδο, με το σύνολο των εξαγωγών της να σημειώνει την περίοδο 2006- 2009 μέσο ετήσιο ρυθμό μεγέθυνσης 11% και να φτάνει το 2009 τους 103.000 τόνους, από 75.600 τόνους το 2006 (Ελληνική Υδατοκαλλιέργεια, 2015).

Όσον αφορά στη γεωγραφική κατανομή των εκμεταλλεύσεων οστρακοκαλλιέργειας οι περιοχές με μεγάλη ανάπτυξη είναι η Θεσσαλονίκη (26%), η Πιερία (25%), η Ημαθία (16%), η Καβάλα (8%) και η Φθιώτιδα (6%) ενώ το υπόλοιπο 19% είναι κατανεμημένο σε 10 περιφερειακές ενότητες με λιγότερες από 10 μονάδες εκάστη (Πρέβεζας, Ξάνθης, Θεσπρωτίας, Χαλκιδικής, Ροδόπης, Αττικής, Σερρών, Λέσβου, Ευβοίας, Αιτωλοακαρνανίας) (Ελληνική Υδατοκαλλιέργεια, 2015).

Όσον αφορά στις μονάδες θαλάσσιας ιχθυοκαλλιέργειας υπάρχουν 336 μονάδες εκτροφής μεσογειακών ειδών, οι οποίες υποστηρίζονται από 38 ιχθυογεννητικούς σταθμούς. Σε επίπεδο Αποκεντρωμένης Διοίκησης, σε 3 διοικήσεις είναι κατανεμημένο σχεδόν το 77% των μονάδων οι οποίες καταλαμβάνουν το 81% των μισθωμένων

εκτάσεων και εκεί εκτρέφεται το 81,5% της Ελληνικής παραγωγής. Αυτές είναι οι διοικήσεις Πελοποννήσου – Δυτικής Ελλάδας – Ιονίου, Θεσσαλίας – Στερεάς Ελλάδας και Αιγαίου (Ελληνική Υδατοκαλλιέργεια, 2015).

Πίνακας 2. Κατανομή μονάδων θαλάσσιας ιχθυοκαλλιέργειας στην Ελλάδα

Αποκεντρωμένη Διοίκηση	Αριθμός μονάδων	Θαλάσσια έκταση (στρέμματα)	Εγκεκριμένη Δυναμικότητα (%)
Αιγαίου	58	1.135	15,64
Αττικής	27	486	5,37
Ηπείρου-Δυτικής Μακεδονίας	41	753	11,53
Θεσσαλίας-Στερεάς Ελλάδας	83	2.037	27,75
Κρήτης	4	75	0,52
Μακεδονίας-Θράκης	6	112	1,09
Πελοποννήσου-Δυτικής Ελλάδας & Ιονίου	117	2.938	38,10
Γενικό άθροισμα	336	7.535	100

Πηγή: Ελληνική Υδατοκαλλιέργεια, 2015

Οι ιχθυοκαλλιέργειες αποτελούν πλέον ένα από τους δυναμικότερους παραγωγικούς κλάδους της χώρας μας, ο οποίος ενσωματώνει την υψηλή τεχνογνωσία, συμβάλλει στη μείωση της υπεραλίευσης, στη μείωση των εισαγωγών ιχθύων, βελτιώνοντας το εμπορικό ισοζύγιο σε επίπεδο εθνικό αλλά και Ευρωπαϊκής Ένωσης. Είναι επομένως κατανοητό ότι με την αύξηση της παραγωγής, αυξάνονται και οι απαιτήσεις της παραγωγής σε παρακολούθηση της υγείας των παραγόμενων ψαριών.



Εικόνα 2. Σύστημα πλωτών κλωβών (gaiapedia1)

Οι θαλασσοκαλλιέργειες σε σταθερή ανοδική πορεία ανάπτυξης από τις αρχές της δεκαετίας του 80, έδωσαν εντυπωσιακά αποτελέσματα, με την παραγωγή σημαντικού ύψους εγχώριου, φρέσκου και φθηνού ψαριού, αλλά και κυρίως με τη δημιουργία ενός ιδιαίτερου κοινωνικοοικονομικού χώρου ο οποίος απασχολεί άμεσα και έμμεσα μεγάλο αριθμό εργαζόμενων, ενώ αποτελούν μια παραγωγική δραστηριότητα που συμβάλλει στην ενίσχυση του πληθυσμού των παράκτιων περιοχών.

Όλες οι προβλέψεις (Stirling, 2004) σχετικά με την εξέλιξη τόσο της παγκόσμιας κατανάλωσης αλιευτικών προϊόντων όσο και των υδατοκαλλιεργειών συμφωνούν σε μερικά απλά γεγονότα.

Όπως ότι:

1. Υπάρχει αυξανόμενη ζήτηση για τα αλιευτικά προϊόντα παγκοσμίως γεγονός που δεν οφείλεται μόνο στην αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού αλλά και στην αύξηση της κατά κεφαλήν κατανάλωσης θαλασσινών, η οποία αναμένεται να αυξηθεί μέχρι το 2030 κατά 50%.

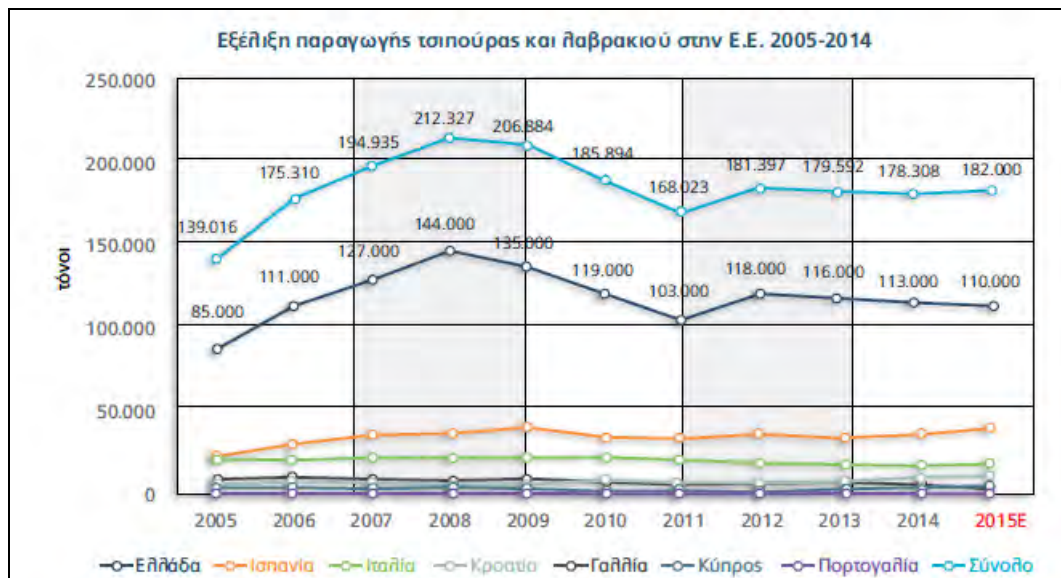
2. Η συλλεκτική αλιεία αντιμετωπίζει συνεχώς όλο και περισσότερους περιορισμούς, και επομένως η υδατοκαλλιέργεια φαίνεται να είναι η μόνη βιώσιμη επιλογή να ικανοποιηθεί αυτή η αυξανόμενη ζήτηση.

3. Σύμφωνα με το F.A.O, η παγκόσμια παραγωγή υδατοκαλλιέργειας θα πρέπει να διπλασιαστεί μέχρι το 2030 για να συμβαδίσει με την ζήτηση. Αυτό αντιπροσωπεύει, σε απόλυτους όρους, μια αύξηση σχεδόν 40 εκατομ. τόνων παγκοσμίως.

Από τα παραπάνω, είναι σαφές ότι η παγκόσμια παραγωγή υδατοκαλλιεργητικών προϊόντων θα αυξηθεί αρκετά στις ερχόμενες δεκαετίες. Η πρόκληση για τη Ελλάδα είναι να συμμετέχει και αυτή στην αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής υδατοκαλλιεργητικών προϊόντων, εξασφαλίζοντας όμως, ότι αυτή η αύξηση θα στηρίζεται σε μια αειφόρο - βιώσιμη ανάπτυξη, η οποία θα έχει ως προτεραιότητα την παραγωγή υγιών προϊόντων, σύμφωνα με τις ανάγκες και τις προσδοκίες των καταναλωτών.

Ο τομέας της υδατοκαλλιέργειας στην χώρα μας βρίσκεται σε μια, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί, «παράδοξη» κατάσταση. Ενώ είμαστε πρωτοπόροι στην παραγωγή μεσογειακών ειδών (διάγραμμα 1) και γνώστες της τεχνολογίας των υδατοκαλλιεργειών, με μεγάλες δυνατότητες να προχωρήσουμε στην ακόμη περισσότερο βιώσιμη ανάπτυξη των υδατοκαλλιεργειών, από την άλλη είμαστε,

όπως και συνολικά η Ευρωπαϊκή Ένωση, εισαγωγείς μεγάλων ποσοτήτων αλιευτικών προϊόντων (η Ε.Ε. εισάγει πάνω από 3 εκατομ. τόνους αλιευμάτων και σύμφωνα με τις προβλέψεις της EUROSTAT, αυτή η ποσότητα θα φτάσει τα 12 εκατομμύρια τόνους μέχρι το 2025).



Διάγραμμα 1. Εξέλιξη παραγωγής τσιπούρας και λαβρακιού στην Ε.Ε. 2005-2014
(Ελληνική Υδατοκαλλιέργεια, 2015)

Επίσης, πρέπει να αναφέρουμε ότι ενώ η τεχνογνωσία μας μεταφέρεται συχνά σε άλλες χώρες γεγονός που βοηθά και συμβάλει στην ραγδαία αύξηση της παραγωγής τους, αντίθετα η αύξηση της εγχώριας παραγωγής μας περιορίζεται από διάφορους παράγοντες.

Τα παραπάνω μας οδηγούν σε δυο βασικές παρατηρήσεις που θα πρέπει να καθοδηγήσουν την στρατηγική της Ελλάδας στις υδατοκαλλιέργειες:

1. Πρέπει να αντιμετωπίζουμε τις υδατοκαλλιέργειες σαν μια βιομηχανία πρωτογενούς παραγωγής η οποία παράγει υψηλής ποιότητας και υγιή τρόφιμα – τα οποία προσφέρουν τροφή στον εγχώριο και της Ε.Ε. πληθυσμό. Ενώ από τις

διαφαινόμενες προοπτικές που υπάρχουν, παρά την σημερινή αρνητική εικόνα, για αύξηση των τιμών των αγροτικών προϊόντων και των ανησυχιών για την επάρκεια τροφίμων, η στρατηγική σημασία των υδατοκαλλιεργειών είναι αδιαφιλονίκητη.

2. Αφού ως χώρα έχουμε βάλει την αύξηση της παραγωγής και των θέσεων απασχόλησης σε πρώτη προτεραιότητα, θα πρέπει να εφαρμόσουμε μια εθνική στρατηγική υδατοκαλλιέργειας που θα πρέπει να λάβει υπόψη της και να εξετάσει την αναντιστοιχία που υπάρχει μεταξύ της θέσης μας, στους ηγέτες της ευρωπαϊκής παραγωγής, και τον περιορισμένο οικονομικό αντίκτυπο που φαίνεται να έχει η βιομηχανία των υδατοκαλλιεργειών μας.

Οι θέσεις απασχόλησης με βάση τα δεδομένα της ΕΛΣΤΑΤ (2014) ανέρχονται περί τις 4000 και οι παραγόμενες ποσότητες παρουσιάζονται στον πίνακα 3.

Πινάκας 3. Παραγωγή υδατοκαλλιεργειών στην Ελλάδα το 2012-2014

Εκτρεφόμενα/ Καλλιεργούμενα είδη	2012		2013		2014		Μεταβολή %			
	Ποσότητα Αξία		Ποσότητα Αξία		Ποσότητα Αξία		2013/12		2014/13	
	Ποσότητα	Αξία	Ποσότητα	Αξία	Ποσότητα	Αξία	Ποσότητα	Αξία	Ποσότητα	Αξία
Γενικό Σύνολο	110.779,8	445.084,6	113.825,3	435.397,9	104.481,4	443.860,5	2,7	-2,2	-8,2	1,8
Ψάρια	94.167,0	439.044,3	95.185,9	428.407,6	87.761,0	436.072,4	1,1	-2,4	-7,8	1,8
Κέφαλοι	245,6	585,7	274,9	585,6	263,5	609,7	11,9	0,0	-4,2	4,1
Λαβράκια	35.805,1	195.445,2	34.919,7	179.351,6	32.141,5	172.921,2	-2,5	-8,2	-8,0	-3,6
Μυλοκόπια	524,9	2.820,1	308,3	1.879,9	461,9	2.737,5	-41,3	-33,3	49,8	45,6
Μυτάκια	347,4	1.826,4	255,1	1.372,3	530,3	2.778,0	-26,6	-24,9	107,9	102,4
Πέστροφες	1.967,5	5.510,4	2.014,5	6.544,2	1.611,4	5.030,4	2,4	18,8	-20,1	-23,3
Τσιπούρες	53.459,2	221.427,9	55.751,3	229.173,8	50.688,2	239.563,3	4,3	3,5	-9,1	4,5
Φαγκριά	696,9	3.791,7	638,5	3.662,3	711,3	4.705,2	-8,4	-3,4	11,4	28,5
Χέλια	322,0	4.163,0	250,3	2.415,6	284,8	2.580,3	-22,3	-42,0	13,8	6,8
Λοιπά Ψάρια	798,4	3.473,9	773,3	3.422,3	164,1	324,1	-3,2	-1,5	-40,7	-32,4
Οστρακοειδή	16.612,8	6.040,2	18.639,4	6.990,3	16.679,0	6.364,7	12,2	15,7	-10,5	-9,0
Μύδια	16.611,6	6.036,6	18.638,4	6.986,9	16.678,4	6.362,1	12,2	15,7	-10,5	-8,9
Λοιπά	1,2	3,7	1,1	3,4	0,1	0,8	-8,4	-7,9	8,3	62,5
Υδρόβια Φυτά-Φύκη	17,4	755,0	9,3	412,3	12,6	510,0	-46,6	-45,4	35,5	23,7
Σπρουλίνα ¹	17,4	755,0	9,3	412,3	12,6	510,0	-46,6	-45,4	35,5	23,7
Αυγοτάραχο	0,5	32,6	0,9	43,1	6,5	900,2	80,0	32,2	607,3	1987,7
Κεφαλοι	0,5	32,6	0,9	43,1	6,5	900,2	80,0	32,2	607,3	1987,7

2. ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΣΤΙΣ ΙΧΘΥΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

2.1. Ο ρόλος της διατροφής στις ιχθυοκαλλιέργειες

Την τελευταία δεκαετία παρατηρείται μια θεαματική ανάπτυξη στον τομέα των υδατοκαλλιεργειών παγκοσμίως και ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες, η οποία αναμένεται να συνεχίσει την ανοδική της πορεία και στα επόμενα χρόνια (Hasan, 2001). Στην αειφορική ανάπτυξη των υδατοκαλλιεργειών πολύ σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η διατροφή. Η σωστή και ισορροπημένη σίτιση των οργανισμών στα ζωικά παραγωγικά συστήματα (μεταξύ των οποίων και οι ιχθυοκαλλιέργειες) είναι απαραίτητη για την παραγωγή τελικών προϊόντων υψηλής ποιότητας. Καθώς οι τροφές αντιπροσωπεύουν υψηλό ποσοστό του κόστους παραγωγής, η σίτιση των οργανισμών αποτελεί ιδιαίτερα κρίσιμο παράγοντα για τη βιωσιμότητα της ιχθυοκαλλιέργειας (Βουλτσιάδου και συν. 2015).

Τα κυριότερα ζητήματα της διατροφής των εκτρεφόμενων υδρόβιων ζωικών οργανισμών που απασχολούν τον κλάδο των υδατοκαλλιεργειών προκειμένου αυτός να παραμείνει βιώσιμος είναι τα εξής (Γιαννηκώτσιου, 2010):

- Οι θρεπτικές απαιτήσεις των διαφόρων εκτρεφόμενων ειδών και η ικανοποίησή τους μέσω της εκτροφής και της εφαρμοσμένης διατροφής τους.
- Η διατροφή των ψαριών και των γεννητόρων των εκτρεφόμενων ειδών.
- Η διατροφική αξία του τελικού προϊόντος και η σημασία του στην διατροφή του ανθρώπου.
- Η ενίσχυση του ανοσοποιητικού συστήματος των εκτρεφόμενων ειδών μέσω της διατροφής τους.

- Η συντήρηση της ποιότητας του περιβάλλοντος και της ικανότητας υποστήριξης των συστημάτων υδατοκαλλιέργειας.
- Η διαθεσιμότητα και η προσφορά των διαφόρων συστατικών των ιχθυοτροφών και η χρησιμοποίησή τους στις ιχθυοτροφές.
- Ο αυξανόμενος ανταγωνισμός για τα συστατικά ιχθυοτροφών με άλλους χρήστες των ίδιων πρώτων υλών.
- Η πρόβλεψη της προσφοράς της ζήτησης των ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων στην τοπική και παγκόσμια αγορά.
- Η εύρεση και αξιοποίηση εναλλακτικών πρωτεϊνικών πηγών και ελαίων για πιθανή υποκατάσταση ή και αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου και του ιχθυελαίου, αντίστοιχα.

Οι θρεπτικές ανάγκες των ψαριών για ανάπτυξη, αναπαραγωγή, μετακίνηση και άλλες φυσιολογικές λειτουργίες είναι παρόμοιες με αυτές των χερσαίων οργανισμών. Ωστόσο, υπάρχουν αξιοσημείωτες θρεπτικές διαφορές μεταξύ των ψαριών και των άλλων ζωικών οργανισμών. Συγκεκριμένα, (α) οι ενεργειακές ανάγκες στα ψάρια είναι μικρότερες από αυτές των χερσαίων ομοιόθερμων ζώων, με συνέπεια τα ψάρια να παρουσιάζουν μεγαλύτερο συντελεστή απόδοσης ενέργειας προς την καταναλωθείσα ποσότητα πρωτεΐνης,·(β) τα ψάρια χρειάζονται κάποια λιπαρά οξέα, όπως τα ωμέγα-3, τα οποία δεν είναι απαραίτητα στους χερσαίους ζωικούς οργανισμούς,·(γ) η δυνατότητα που παρουσιάζουν τα ψάρια όσον αφορά την απορρόφηση ιχνοστοιχείων από το περιβάλλον τους μειώνει τις θρεπτικές τους απαιτήσεις από την παρεχόμενη τροφή,·(δ) τα ψάρια παρουσιάζουν περιορισμένες δυνατότητες στη σύνθεση ασκορβικού οξέος και επομένως εξαρτώνται από την παρουσία αυτού μέσα στην τροφή τους (Βουλτσιάδου και συν. 2015).

2.2 Θρεπτικές απαιτήσεις σε πρωτεΐνες και αμινοξέα

Η παρουσία των πρωτεϊνών στα σιτηρέσια των εκτρεφόμενων ψαριών είναι απαραίτητη. Ο βιολογικός ρόλος των πρωτεϊνών στη δομή και τη λειτουργία του οργανισμού των ψαριών είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Οι πρωτεΐνες αποτελούν το 65-75% του ολικού ξηρού βάρους των ψαριών.

Οι πρωτεΐνες αποτελούν απαραίτητα συστατικά στη διατροφή των ψαριών, δεδομένου ότι οι οργανισμοί αυτοί δεν μπορούν να συνθέσουν όλα τα αμινοξέα, αλλά πρέπει να τα λάβουν από την τροφή. Επομένως τα αμινοξέα που εισέρχονται στο ψάρι, χρησιμοποιούνται είτε για τη σύνθεση νέων πρωτεϊνών, ιδιαίτερα σε περιόδους ανάπτυξης, αλλά και αναπαραγωγικής ωρίμανσης, ή για αντικατάσταση και συντήρηση των ήδη υπάρχοντων πρωτεϊνών (Βουλτσιάδου και συν. 2015). Η πρωτεΐνη είναι η πρώτη οριακή θρεπτική ουσία στις ελαχίστους κόστους δίαιτες λόγω του υψηλού κόστους αυτής στην αγορά (Matthews, 2000).

Το ποσοστό της διαιτητικής πρωτεΐνης, το οποίο αποδίδει τη μέγιστη ανάπτυξη του οργανισμού εξαρτάται από τους εξής παράγοντες (Γιαννηκώτσου, 2010):

- Το ενεργειακό περιεχόμενο της τροφής
- Τη φυσιολογική κατάσταση του οργανισμού (ηλικία, βάρος, γονιμότητα)
- Τους περιβαλλοντικούς παράγοντες (θερμοκρασία νερού, αλατότητα, διαλυμένο O₂)
- Την ποιότητα της πρωτεΐνης (ποσοστό και διαθεσιμότητα των απαραίτητων αμινοξέων)
- Την πρόσληψη τροφής.

Οι απαιτήσεις σε πρωτεΐνες ποικίλλουν στα διάφορα είδη ψαριών και μάλιστα μεταβάλλονται ανάλογα με την ηλικία των ψαριών, με τις απαιτήσεις να μειώνονται με την αύξηση της ηλικίας. Επίσης, περιβαλλοντικοί παράγοντες, όπως η θερμοκρασία αλλά και η αλατότητα του νερού, επηρεάζουν τις απαιτήσεις του οργανισμού σε πρωτεΐνες, ακόμη και εντός της ίδιας ηλικιακής κλάσης, ενώ σημαντικό ρόλο έχουν και αρκετοί ενδογενείς παράγοντες. Ο προσδιορισμός της ακριβούς ποσότητας πρωτεϊνών που απαιτείται στα σιτηρέσια των διαφορετικών ψαριών δεν είναι εύκολη διαδικασία. Στη φύση, τα σαρκοφάγα ψάρια καταναλώνουν τροφές με περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη μέχρι 50%. Ανεπαρκής ποσότητα πρωτεΐνης στην τροφή οδηγεί σε ελάττωση του σωματικού βάρους, αναστολή της αύξησης και διαταραχή της ομοιόστασης της φυσιολογικής λειτουργίας του οργανισμού. Αντίθετα, εάν η ποσότητα πρωτεΐνης στην τροφή είναι υψηλή, τότε ένα μέρος θα χρησιμοποιηθεί για τη σύνθεση νέων πρωτεϊνών, ενώ η περίσσια ποσότητα θα μετατραπεί σε ενέργεια (Βουλτσιάδου και συν. 2015).

Μερικοί ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει ημισυνθετικές και συνθετικές δίαιτες για να διερευνήσουν το ιδανικό επίπεδο των πρωτεϊνών στις τροφές για τα ψάρια. Οι περισσότερες από αυτές τις εκτιμήσεις προέρχονται από το αποτέλεσμα της καμπύλης της δόσης (αυξανόμενο ποσό πρωτεΐνης) με την αντίδραση (αύξηση σωματικού βάρους), η οποία οδηγεί στον καθορισμό της ελάχιστης απαιτούμενης ποσότητας πρωτεΐνης στην τροφή ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη ανάπτυξη. Η ιδανική ποσότητα πρωτεΐνης στην διαίτα των ιχθυοκαλλιεργιών φαίνεται να επηρεάζεται από το μέγεθος ή την ηλικία του ψαριού με διακυμάνσεις από 28% έως 50% επί της συνολικής ουσίας της τροφής (El-Sayed and Teshima, 1992). Για τα νεαρά άτομα (σωματικό βάρος περίπου 0,5 – 5 g), έχει καθοριστεί ότι ποσοστό πρωτεΐνης 29 – 40% αποδίδει την ιδανική ανάπτυξη (Shiau and Peng, 1993).

Όσον αφορά τη διατροφή των γεννητόρων, είναι πολύ σημαντικό να προσδιορίσουμε τις διατροφικές τους απαιτήσεις καθώς σχετίζονται με την ωρίμανση των γονάδων, τη γονιμότητα των αυγών, την επιβίωση των λεκιθοφόρων ιχθυδίων και την ανάπτυξη των ατελών ιχθυδίων (Izquierdo et al. 2001). Η έλλειψη διαιτητικών πρωτεϊνών επηρεάζει σημαντικά τη σύσταση του σώματος των ψαριών σε πρωτεΐνη και αμινοξέα καθώς και λιπίδια και λιπαρά οξέα.

2.3 Θρεπτικές απαιτήσεις σε ενέργεια

Η χρησιμοποίηση της ενέργειας της τροφής είναι πολύ σημαντικό στοιχείο της διατροφής των εκτρεφόμενων ζωικών οργανισμών. Οι ζωικοί οργανισμοί χρησιμοποιούν την ενέργεια που προσλαμβάνουν από την τροφή τους για να καλύψουν τις ανάγκες τους για την επιβίωση, την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή τους. Η τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP) είναι η άμεση πηγή ενέργειας στον κύκλο του μεταβολισμού, ενώ η διφωσφορική αδενοσίνη (ADP) δρα βασικά ως αποθεματική ενέργεια (Steffens, 1989).

Μία από τις πιο εμφανείς διαφορές στη θρέψη μεταξύ των ιχθύων και των εκτρεφόμενων χερσαίων ζώων είναι ότι το ποσοστό της ενέργειας που απαιτείται για τη σύνθεση των πρωτεϊνών είναι αρκετό μικρότερο για τα ψάρια συγκριτικά με τα θερμόαιμα ζώα. Τα ψάρια εμφανίζουν χαμηλότερες θρεπτικές ανάγκες σε ενέργεια επειδή δεν έχουν την ανάγκη της συνεχούς διατήρησης της θερμοκρασίας του σώματός τους σε σταθερό επίπεδο (Lovell, 1989). Ωστόσο, τα απαιτούμενα επίπεδα ενέργειας γενικά καθορίζονται από τον υδρόβιο και ποικιλόθερμο χαρακτήρα τους σε συνδυασμό με το είδος (θερμόφιλο, ψυχρόφιλο, ευρύθερμο) και άλλες παραμέτρους, όπως το

βιολογικό στάδιο-ηλικία και τη θερμοκρασία νερού διαβιώσεώς τους (Παπουτσόγλου, 2008).

Η ενέργεια των τροφών απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της μεταβολικής οξείδωσης των πρωτεϊνών, των υδατανθράκων και των λιπιδίων. Όπως η κάλυψη των θρεπτικών αναγκών των ψαριών σε πρωτεΐνη αποτελεί προτεραιότητα στην παρασκευή ιχθυοτροφών, τόσο για την σημασία της στη διατροφή αλλά και λόγω του αυξημένου κόστους των πρωτεϊνικών συστατικών, έτσι και η ενέργεια θα πρέπει να εξετάζεται για την απαιτούμενη ποσότητα που πρέπει να περιέρχεται στην τροφή για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του οργανισμού.

Στην εκτροφή ιχθύων πραγματοποιούνται πολλές έρευνες πεπτικότητας των τροφών οι οποίες αποβλέπουν στην κατανόηση της χρήσης θρεπτικών ενώσεων, με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας των τροφών, αλλά και τη μείωση των απορριπτόμενων προϊόντων μεταβολισμού, καθώς και των τροφών που δεν πέπτονται. Έτσι, υπολογίζεται ο συντελεστής πεπτικότητας (ADC, apparent digestibility coefficient), σύμφωνα με τον τύπο: $ADC = [(ποσότητα\ καταναλωθείσας\ τροφής - ποσότητα\ περιττωμάτων) / ποσότητα\ καταναλωθείσας\ τροφής] \times 100$. Γενικά, τα ψάρια αφομοιώνουν τις πρωτεΐνες με συντελεστή ADC μεγαλύτερο από 90%, με τις πρωτεΐνες ζωικής προέλευσης να παρουσιάζουν μεγαλύτερη πεπτικότητα από τις φυτικές. Αντίθετα, τα λιπίδια με χαμηλά σημεία τήξης χρησιμοποιούνται από τα ψάρια με συντελεστή ADC μεγαλύτερο από 95%. Η πεπτικότητα των απλών σακχάρων αγγίζει το 100%. Ο συντελεστής ADC του αμύλου (που προστίθεται στις τροφές των ψαριών σε ποσοστά άνω του 50%), ποικίλλει εντυπωσιακά ανάλογα με το είδος και τη θερμοκρασία του νερού, χωρίς να φτάνει ωστόσο σε τιμές ανώτερες του 50% (Βουλτσιάδου και συν. 2015).

Οι υδατάνθρακες αποτελούν την πιο άφθονη και φθηνότερη πηγή ενέργειας. Οι βιολογικής σημασίας υδατάνθρακες είναι τα σάκχαρα, εκ των οποίων τα πιο απλά μόρια είναι οι μονοσακχαρίτες (π.χ. γλυκόζη, φρουκτόζη) και τα πιο σύνθετα είναι οι πολυσακχαρίτες (π.χ. άμυλο, γλυκογόνο, κυτταρίνη). Στη σίτιση των ψαριών, αλλά και άλλων εκτρεφόμενων ζωικών οργανισμών, απαντούν οι δομικοί πολυσακχαρίτες, όπως είναι, μεταξύ άλλων, η κυτταρίνη, το άγαρ και η χιτίνη που μπορούν να καταναλωθούν αλλά είναι αφομοιώσιμοι μόνο από φυτοφάγα είδη, αλλά και άλλοι πολυσακχαρίτες, όπως το άμυλο, που πέπτονται και αφομοιώνονται από όλους τους οργανισμούς.

Ωστόσο, μία υπερβολική προσφορά διαιτητικής ενέργειας μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη εναπόθεση λίπους στο σώμα των ψαριών και παράλληλα να μειώσει την κατανάλωση της τροφής, με συνέπεια τη μείωση της συνολικής πρόσληψης πρωτεϊνών, και έτσι να περιορίσει τη βέλτιστη χρησιμοποίηση των άλλων συστατικών της ιχθυοτροφής (Webster and Lim, 2002).

2.4 Θρεπτικές ανάγκες σε λιπίδια και λιπαρά οξέα

Τα λιπίδια, που κάποιες φορές ταυτίζονται με τα λίπη, αποτελούν τη βασική μορφή αποθήκευσης ενέργειας στους ζωικούς οργανισμούς και προέρχονται από την αντίδραση γλυκερόλης και λιπαρών οξέων. Οι σημαντικότερες κατηγορίες λιπιδίων είναι τα ουδέτερα λίπη που διακρίνονται σε κορεσμένα και ακόρεστα, τα φωσφολιπίδια που αποτελούν το κύριο συστατικό των κυτταρικών μεμβρανών και τα στεροειδή. Τα λιπίδια, επίσης, χρησιμεύουν ως πρόδρομα των στεροειδών ορμονών και των προσταγλανδινών, βελτιώνουν τη γεύση της τροφής και διαμορφώνουν την σύσταση των λιπαρών οξέων στους ιστούς των ψαριών (Cuillaume et al. 2001).

Με βάση τη διαλυτότητα, ως λιπίδια ορίζονται οργανικά μόρια, που απαντούν στη φύση και μπορούν να απομονωθούν κατά την εκχύλιση κυττάρων και ιστών με υδρόφοβους οργανισμούς διαλύτες (McMurry 2005).

Τα λιπίδια ταξινομούνται σε δύο βασικές κατηγορίες:

1. Σε αυτά που περιέχουν εστερομάδες που μπορούν να υδρολυθούν (λίπη, κηροί)
2. Σε αυτά που δεν περιέχουν εστερομάδες και δεν υδρολύονται (χοληστερόλη, στεροειδή) (McMurry, 2005).

Τα ψάρια χρειάζονται τα λιπίδια σαν πηγή διαθέσιμης ενέργειας, σαν δομικά στοιχεία των μεμβρανών, σαν φορείς των λιποδιαλυτών βιταμινών, σαν πρόδρομα των εικοσανοειδών, των ορμονών και της βιταμίνης D και σαν ενζυμικοί συμπαράγοντες (Higgs and Dong 2000; Turchini et al. 2009). Στα ψάρια, τα λιπίδια αποτελούν καλή πηγή απαραίτητων λιπαρών οξέων με σκοπό τη διατήρηση της καλής υγείας, της σωστής ανάπτυξης του σώματος, της αναπαραγωγής και των λοιπών λειτουργιών του σώματος. Όλοι οι σπονδυλωτοί οργανισμοί (και τα ψάρια) έχουν υψηλές απαιτήσεις σε n-3 και σε n-6 PUFA. Τα τελευταία, ο ρόλος των λιπιδίων στη διατροφή των ψαριών έχει γίνει πιο σημαντικός λόγω της παραγωγής και της εφαρμογής σιτηρεσίων υψηλής περιεκτικότητας σε ενέργεια (Turchini et al. 2009). Αυτό ωφελεί όχι μόνο τον εκτροφέα, καθώς μειώνεται η περίοδος εκτροφής, αλλά ταυτόχρονα και το περιβάλλον (Sargent et al. 2002). Με την πρόσληψη λιπιδίων, τα ψάρια ικανοποιούν τις διατροφικές απαιτήσεις τους σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA), τα οποία είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη, αναπαραγωγή, υγεία και την καλή διαβίωση τους. Τα ψάρια όμως, όπως και όλα τα σπονδυλωτά, δεν μπορούν να συνθέσουν τα PUFA, τα οποία θα πρέπει να λάβουν μέσω της τροφής.

Ο φυσιολογικός ρόλος των λιπαρών οξέων συγκεντρωτικά είναι:

- Είναι δομικοί λίθοι φωσφολιπιδίων και γλυκολιπιδίων
- Πολλές πρωτεΐνες τροποποιούνται με την ομοιοπολική δέσμευση λιπαρών οξέων, τα οποία τις καθοδηγούν στις θέσεις τους στις μεμβράνες
- Είναι καύσιμα μόρια, τα οποία αποθηκεύονται ως τριακυλογλυκερόλες (ουδέτερα λίπη ή τριγλυκερίδια), οι οποίες είναι μη φορτισμένοι εστέρες της γλυκερόλης με λιπαρά οξέα. Οι τριακυλογλυκερόλες κινητοποιούν λιπαρά οξέα, τα οποία οξειδώνονται, για να καλύψουν ενεργειακές ανάγκες του κυττάρου ή του οργανισμού.
- Παράγωγα των λιπαρών οξέων χρησιμεύουν ως ορμόνες και ως ενδοκυτταρικοί αγγελιαφόροι (Berg et al. 2001).

Τα λιπαρά οξέα που χορηγούνται με την τροφή στα εκτρεφόμενα ψάρια και κατ'επέκταση στον άνθρωπο περιλαμβάνουν τα πολυακόρεστα ω-3 και ω-6 λιπαρά οξέα και αποτελούν δομικές ομάδες των φωσφολιπιδίων της κυτταρικής μεμβράνης (Fountoulaki et al. 2003). Τα υπόλοιπα οξέα ως συστατικό των φωσφολιπιδίων, προσδίδουν στο μόριο τις υδρόφοβες ιδιότητες, ενώ τα υπόλοιπα συστατικά τις υδρόφιλες, οι οποίες επιτρέπουν την επικοινωνία με το περιβάλλον (Berg et al. 2001). Επιπλέον, τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα συμβάλλουν και στη φυσιολογική λειτουργία πολλών νευροορμονικών μηχανισμών (Bhathena, 2000; Tanskanen et al. 2001; Young and Conquer, 2005).

Η αφθονία ενός λιπαρού οξέος στην τροφή (π.χ. του αραχιδονικού) θα μεταβάλει την διαιτητική ανάγκη για κάποιο άλλο απαραίτητο λιπαρό οξύ (όπως το EPA). Επιπλέον, το τελικό επίπεδο του EPA επηρεάζεται από τις ικανότητες του οργανισμού (γενετικά προκαθορισμένες) να βιοσυνθέτει το συγκεκριμένο λιπαρό οξύ από πρόδρομες ενώσεις, μικρότερης αλυσίδας και να καταβολίζει τόσο την πρόδρομη

ένωση όσο και το προϊόν. Αυτές οι προτεραιότητες καθιστούν αναγκαία την πλήρη κατανόηση της θρέψης των λιπιδίων, γεγονός που πιθανώς να εξηγεί την αυξημένη ενασχόληση των επιστημόνων με αυτή (Sargent et al. 2002).

2.5. Παραγωγή ιχθυοτροφών

Η παρασκευή ιχθυοτροφών είναι η βιομηχανική παραγωγική διαδικασία η οποία έχει σαν σκοπό:

- Να ικανοποιήσει μέσω των χορηγούμενων τεχνητών ιχθυοτροφών τις θρεπτικές απαιτήσεις των εκτρεφόμενων ψαριών αποδίδοντας το μέγιστο δυνατό ρυθμό ανάπτυξης τους συμβάλλοντας παράλληλα στην ενίσχυση της υγείας τους και τη διατήρηση της υψηλής θρεπτικής αξίας τους
- Να επεξεργαστεί πρώτες ύλες που συμμετέχουν στο σιτηρέσιο, και να τις κάνει κατάλληλες για την ιδιομορφία πέψης του εκτρεφόμενου ψαριού.
- Να περιορίσει τη σπατάλη σε θρεπτικά συστατικά και τροφές
- Να βελτιώσει την ελκυστικότητα της ιχθυοτροφής ώστε να ταιριάζει στις διατροφικές συνήθειες των εκτρεφόμενων ψαριών.
- Να συμβάλλει στη βελτίωση της γεύσης, του χρώματος και τη εν γένει ποιότητας των ψαριών και των παραγόμενων προϊόντων
- Να διατηρήσει καθαρό και ακέραιο το υδάτινο περιβάλλον της εκτροφής.



Εικόνα 4. Διαδικασία σίτισης θαλάσσιους ιχθυοκλωβούς σε ιχθυοκαλλιέργεια λαβρακίου (eurokinissi/Χαλκιάπουλος Νίκος)

Αποτελείται από μια σειρά επιμέρους εργασίες:

- α) την άλεση των πρώτων υλών που συμμετέχουν στο σιτηρέσιο
- β) την ζύγιση και την ανάμιξη των πρώτων υλών (ιχθυάλευρο, ιχθυέλαιο, λεκιθίνη κλπ) σε απόλυτα καθορισμένες αναλογίες
- γ) την υγροθερμική κατεργασία του τελικού μίγματος και την περαιτέρω μορφοποίησή του σε σύμπηκτα με κατάλληλο σχήμα.
- δ) την ξήρανση, την ψύξη και την συσκευασία του τελικού προϊόντος.

2.6. Με τι είδους τροφές τρέφονται τα ψάρια ιχθυοκαλλιέργειας

Τα ψάρια της ιχθυοκαλλιέργειας τρέφονται με τεχνητές πλήρεις ιχθυοτροφές που έχουν σύσταση ανάλογη των διατροφικών απαιτήσεων που έχει κάθε είδος ψαριού για επίτευξη μέγιστου ρυθμού ανάπτυξης.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης τεχνητών ιχθυοτροφών είναι τα εξής:

- Παράγονται σε εξειδικευμένες βιομηχανικές εγκαταστάσεις με χρήση πιστοποιημένων πρώτων υλών, με αποτελέσματα να είναι υγιεινοοικονομικά ασφαλείς.
- Διαθέτουν ελεγχόμενα φυσικά χαρακτηριστικά (σχήμα, μέγεθος, πυκνότητα, χρώμα), η σύνθεσή τους είναι ελεγχόμενη και άρα έχουν σταθερή διατροφική αξία και οργανοληπτικές ιδιότητες.

Επειδή οι τεχνητές ιχθυοτροφές έχουν ως κύρια πρώτη ύλη το ιχθυάλευρο, το οποίο προέρχεται από επεξεργασία ψαριών με αντίστοιχο προφίλ θρεπτικών ουσιών, πρωτεϊνών και πολυακόρεστων λιπαρών οξέων, διατηρούν τις πολύτιμες ιδιότητες που έχει το ψάρι ως τρόφιμο, οι οποίες με τη σειρά τους και με βάση την αρχή του «είσαι ό,τι τρώς» μεταφέρονται αυτούσιες στο ψάρι ιχθυοκαλλιέργειας. Μια άλλη κύρια πρώτη ύλη των ιχθυοτροφών είναι το ιχθυέλαιο, το οποίο προέρχεται από επεξεργασία ψαριών και χρησιμοποιείται τόσο ως πηγή διαιτητικής ενέργειας αλλά κυρίως ως πηγή των ω-3 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων για τη διατροφή των ψαριών.

Η σύγχρονη μάλιστα τεχνολογία και τεχνογνωσία στους τομείς παρασκευής ιχθυοτροφών και εκτροφής ψαριών, εξασφαλίζει σταθερότητα στην ύπαρξη αυτών των θετικών ιδιοτήτων στα ψάρια της ιχθυοκαλλιέργειας και πολλές φορές εξασφαλίζουν ακόμη και την βελτίωσή τους, για ακόμα μεγαλύτερο όφελος στον άνθρωπο, όταν καταναλώνει ψάρια ιχθυοκαλλιέργειας.

3. ΙΧΘΥΑΛΕΥΡΑ ΚΑΙ ΙΧΘΥΕΛΑΙΑ

3.1 Γενικά

Οι ιχθυοτροφές πρέπει να προσδίδουν στο εκτρεφόμενο ψάρι τις απαραίτητες για την ανάπτυξή του πρωτεΐνες και λίπη, συστατικά τα οποία παίρνει από μόνο του όταν βρίσκεται στο φυσικό του περιβάλλον. Ως πηγή πρωτεϊνών και λιπών χρησιμοποιούνται τα ιχθυάλευρα και τα ιχθυέλαια, αντίστοιχα.

Τα ιχθυάλευρα και τα ιχθυέλαια προκύπτουν από την επεξεργασία (άλεσμα) ορισμένων ειδών πελαγικών ψαριών (ρέγγες, γαύρους, σαρδέλες, μενάχεν- *Brevoortia tyrannus*, *B. aurea* και *B. pectinata*), τα οποία αλιεύονται κυρίως στον νότιο Ειρηνικό και βόρειο Ατλαντικό. Τα είδη αυτά των πελαγικών ψαριών, σχηματίζουν τεράστιους πληθυσμούς, πολλαπλασιάζονται πολύ γρήγορα και σε μεγάλους αριθμούς, μεγαλώνουν ταχύτατα και έχουν μικρή διάρκεια ζωής. Αλιεύονται σε μεγάλες ποσότητες και αποτελούν σπουδαιότατη πηγή άριστης ποιότητας πρωτεϊνών και ιχθυελαίου όχι μόνο για τις ανάγκες της παγκόσμιας ιχθυοκαλλιέργειας αλλά και της ζωικής παραγωγής (κτηνοτροφία, πτηνοτροφία) (Καραπαναγιωτίδης, 2015).

3.2 Τα Ιχθυάλευρα

Η ανάπτυξη των εμπορικών ιχθυοτροφών βασίζεται παραδοσιακά στο ιχθυάλευρο, την κυριότερη πηγή πρωτεΐνης. Από όλες τις πρωτεΐνες, οι ζωικές αποτελούν την κύρια πηγή πρωτεΐνης στα ψάρια (προϊόντα υψηλής διατροφικής αξίας με περιεκτικότητα 32-82%, πλούσια σε λυσίνη). Το ιχθυάλευρο αποτελεί τη

σημαντικότερη πρωτεϊνική πηγή των ιχθυοτροφών. Περιέχει από 56 έως 76% πρωτεΐνη, ανάλογα την ποιότητα, ενώ είναι πλούσιο σε ενέργεια (κατά μέσο όρο 4941 kcal/kg ιχθυάλευρου), σε απαραίτητα λιπαρά οξέα, ιχνοστοιχεία (π.χ. 3% ασβέστιο και 2% ολικός φώσφορος) και είναι ιδιαίτερα εύγευστο για τα ψάρια (Βουλτσιάδου και συν. 2015). Γενικά, θεωρείται το πιο επιθυμητό ζωικό συστατικό στις ιχθυοτροφές λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε πρωτεΐνη, της υψηλής πεπτικότητάς του, της ωραίας γεύσης που προσδίδει στην ιχθυοτροφή καθώς και για το ότι αποτελεί πηγή των απαραίτητων ω-3 λιπαρών οξέων.



Εικόνα 5. Είδη ιχθυοτροφής (Βουλτσιάδου και συν. 2015).

3.3 Η παρασκευή του ιχθυάλευρου

Το ιχθυάλευρο πρόκειται για άλευρο που παρασκευάζεται από την επεξεργασία διαφόρων ειδών ψαριών, κυρίως πελαγικών όπως γαύρος, ρέγγα, καπελάνος, φρίσσα κλπ. Τα ιχθυάλευρα παρασκευάζονται είτε από ολόκληρα ψάρια, όπως π.χ. από άλευρα από γαύρο, καπελάνο, φρίσσα του Ατλαντικού κλπ. είτε από τα υπολείμματα της φιλλετοποίησης και μεταποίησης των ψαριών, όπως π.χ. άλευρα από μπακαλιάρο του Ατλαντικού, κίτρινο μπακαλιάρο, ρέγκα, και υποβάλλονται πρώτα σε αποστείρωση με

άτμιση (υγρή μέθοδος κατεργασίας) ή με απλό βρασμό (ξηρή μέθοδος κατεργασίας). Κατά την υγρή μέθοδο χρησιμοποιούνται υδρατμοί με πίεση, ενώ κατά την ξηρή διενεργείται βρασμός με πίεση ή και χωρίς πίεση (απουσία νερού).

Η πρώτη μέθοδος εφαρμόζεται όταν τα ψάρια ή τα υπολείμματά τους είναι πλούσια σε λίπος, ενώ η δεύτερη όταν είναι φτωχά σε λίπος. Μετά την αποστείρωση ακολουθούν διαδοχικά η συμπίεση ή συμπύκνωση, η αφυδάτωση και η άλεση.

Τα ιχθυάλευρα περιέχουν υψηλά επίπεδα που κυμαίνονται από 60-72% με τα επίπεδα των απαραίτητων αμινοξέων σε ισορροπία. Η περιεκτικότητα σε λιπίδια κυμαίνεται από 4 έως 20%.

Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Βιομηχανιών Ιχθυαλεύρων και Ιχθυελαιών (IFFO), τα διάφορα ιχθυάλευρα βάση της σύστασής τους σε πρωτεΐνες και λιπίδια ταξινομούνται ως εξής:

- Ιχθυάλευρα υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη (>68%) και μικρής σε έλαια (<9%).
- Τα περισσότερα ρεγγάλευρα εμπίπτουν σε αυτή την κατηγορία
- Ιχθυάλευρα κανονικής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη (64-68%). Τέτοια ιχθυάλευρα μεταξύ των οποίων συμπεριλαμβάνονται ιχθυάλευρα Ν. Αμερικής, πρέπει να περιέχουν το πολύ 13% ελαίου.
- Ιχθυάλευρα με κανονική περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (64-68%) και περιεκτικότητας σε έλαιο μικρότερης από 6%.
- Ιχθυάλευρα με περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη 60-64%.

Τα πιο κοινά ιχθυάλευρα που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής:

- Άλευρο ρέγγας, *Clupea Havengus*, που αλιεύεται στον Β. Ατλαντικό κυρίως από Νορβηγία, Δανία. Επίσης, ένα άλλο είδος που ανήκει στην οικογένεια *Clupeidae* και χρησιμοποιείται για την παρασκευή ιχθυαλεύρου είναι το *Brevoortia tyrannus* (αγγ. Menhaden), το οποίο αλιεύεται κυρίως στις Ατλαντικές ακτές της Β. και Ν. Αμερικής.
- Άλευρο γαύρου, *Engraulis rigens* αλιευόμενος σε Περού και Χιλή
- Άλευρο σαρδέλας, *Clupea spp.* και *Sardinops spp.*
- Άλευρο σκουμπριού, *Scomber scombrus* (σκουμπρί) και σαυρίδι, *Trachurus trachurus* που αλιεύονται στην Αγκόλα και την Ν. Αφρική.
- Για την παραγωγή ιχθυαλεύρων (και ιχθυελαίων) χρησιμοποιούνται επίσης τα είδη *Sebastes marinus*, *Thunnus thynnus*, *Thunnus albacares*, *Sarda ehilensis*, *Gadus callarias*, *Melanogrammas aeglefinus*, *Merlangius merlangus*, *Polachius virens*, *Thenagra chalcogramma*, *Gadus macrocephalus*, *Merluccius merluccius*, *Merluccius capensis*, *Merluccius gayi* που αλιεύονται στον Ατλαντικό και στις ακτές της Ν. Αμερικής. Για την παγκόσμια παραγωγή ιχθυαλεύρων χρησιμοποιείται ρεγγάλευρο, αντσουγιάλευρο, σαρδελάλευρο και σκουμπράλευρο κατά 90% υπολείμματα από ψάρι λιγότερο από 10% και 1% από ασπόνδυλα και φαλαινάλευρο.

Εκτός από τα ιχθυάλευρα υπάρχουν και άλλα προϊόντα επεξεργασίας νωπών ψαριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συστατικά των ιχθυοτροφών. Τέτοια είναι τα ενσίρωμα ψαριών (fish silage) και η υδροληθείσα πρωτεΐνη ψαριών (fish protein hydrolyates). Το ενσίρωμα των ψαριών παρασκευάζεται από υπολείμματα φιλλετοποίησης των ψαριών που διατηρούνται σε όξινο περιβάλλον (pH<4), ενώ όταν

τα υπολείμματα πρώτα υδρολυθούν και μετά οξινιστούν το προϊόν ονομάζεται υδροληθείσα πρωτεΐνη ψαριών. Τα πρωτεολυτικά ένζυμα που υπάρχουν στα υπολείμματα φιλλετοποίησης των ψαριών όταν γίνει συντήρηση σε οξύ, υδρολύουν την πρωτεΐνη του ψαριού, απελευθερώνοντας νερό από πεπτιδικούς δεσμούς και δημιουργούν ένα υγρό προϊόν. Η σύντομη έκθεση σε υψηλή θερμοκρασία μετουσιώνει τα ένζυμα και σταματά την υδρόλυση. Το ενσίρωμα ή το υδρόλυμα ψαριών μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως έχει, συμπυκνωμένο, ή να ξηρανθεί μαζί με άλλα συστατικά. Το νωπό αλίευμα μπορεί επίσης να παστεριωθεί με θέρμανση σε $>85^{\circ}\text{C}$ για 15 λεπτά και να χρησιμοποιηθεί απευθείας ως συστατικό σε ιχθυοτροφές (Καραπαναγιωτίδης, 2015).

Μια σημαντική, και ολοένα αυξανόμενη, ποσότητα ιχθυαλεύρων προέρχεται από την επεξεργασία φιλλετοποίησης των ψαριών. Πρόκειται για ιχθυάλευρα όπου η πρώτη ύλη τους είναι τα διάφορα υπολείμματα και υποπροϊόντα της φιλλετοποίησης και κονσερβοποίησης τόσο αλιευόμενων ιχθύων, όπως γάυρος, σαρδέλα, σκουμπρί κλπ., όσο και εκτρεφόμενων ιχθύων όπως σολομός, πέστροφα, τιλάπια, γατόψαρα κλπ. Η περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνη είναι χαμηλότερη (55-64%) από εκείνη των συμβατικών ιχθυαλεύρων, ενώ και η περιεκτικότητά τους σε τέφρα είναι υψηλότερη (22-24%).

Στα μειονεκτήματά τους επίσης είναι η αρκετά μεταβλητή τους θρεπτική σύσταση μιας και μεταβάλλεται ανάλογα τα είδη που χρησιμοποιούνται κατά την επεξεργασία, την εποχή αλίευσης, τη διατροφή τους όταν αυτά προέρχονται από εκτροφή κλπ. Στην κατηγορία αυτή των ιχθυαλεύρων ανήκουν και εκείνα τα άλευρα τα οποία προέρχονται από παρεμπίπτοντα αλιεύματα. Πρόκειται δηλαδή για αλιεύματα που δεν αποτέλεσαν είδη – στόχους της αλιευτικής προσπάθειας και δεν έχουν εμπορική αξία.

Η παραγωγή των παραπάνω ιχθυαλεύρων είναι μία δυναμική αύξηση της τελευταίας δεκαετίας και έχουν φτάσει να αποτελούν περίπου το 25% της παγκόσμιας παραγωγής ιχθυαλεύρων, καθώς η συνεισφορά τους τόσο στην μείωση του κόστους παρασκευής των ιχθυοτροφών, και κατ'επέκταση του κόστους παραγωγής της ιχθυοκαλλιέργειας, όσο και στη μείωση της αλιευτικής πίεσης στα φυσικά αποθέματα είναι διόλου ευκαταφρόνητη (Jauncey, 1998).

3.4 Τα Ιχθυέλαια

Τα ιχθυέλαια αποτελούν τα έλαια που παράγονται κατά την επεξεργασία ιχθύων έπειτα από συμπίεση και χημική επεξεργασία. Τα ιχθυέλαια προστίθενται στις ιχθυοτροφές για δύο κυρίως λόγους:

1. για να αυξήσουν το ενεργειακό περιεχόμενο της ιχθυοτροφής, αρκεί να σκεφτεί κανείς πως τα έλαια και τα λίπη αποτελούν τις πιο πλούσιες ενεργειακά θρεπτικές ουσίες.
2. για να ικανοποιήσουν τις διατροφικές απαιτήσεις των ψαριών σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα και κυρίως στα ω-3 ΠΛΟ.

Τα κυριότερα ιχθυέλαια που χρησιμοποιούνται είναι εκείνα τα οποία παρασκευάζονται από τα ίδια είδη ψαριών που χρησιμοποιούνται για την Παρασκευή των ιχθυαλεύρων. Αξίζει να σημειωθεί πως τα ιχθυέλαια διαφορετικών ειδών ψαριών περιέχουν και διαφορετικά επίπεδα των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων. Για παράδειγμα, το έλαιο της σαρδέλας έχει υψηλότερη περιεκτικότητα σε ω-3 ΠΛΟ από εκείνο που προέρχεται από εκτρεφόμενο σολομό, ιδιαίτερα δε αν ο σολομός έχει διατραφεί με σιτηρέσια που περιείχαν σημαντικά ποσά φυτικών ελαίων.

Τα έλαια που θα χρησιμοποιηθούν στις ιχθυοτροφές επιλέγονται με τα ίδια κριτήρια με εκείνα που χρησιμοποιούνται για άλλα συστατικά: τιμή, διαθεσιμότητα, θρεπτική αξία και ποιότητα, που καθορίζονται με χημικούς ελέγχους. Καθώς τα έλαια είναι ευαίσθητα σε οξειδωτική και υδρολυτική αποικοδόμηση, υπάρχουν προδιαγραφές για το ποσοστό των ελεύθερων λιπαρών οξέων και άλλων προϊόντων της οξείδωσης, όπως είναι η μαλοναλδεΰδη και τα υπεροξειδία (Jauncey, 1998).

Επίσης, συχνά καθορίζονται όρια για την περιεκτικότητά τους σε νερό, την περιεκτικότητα σε μη σαπωνοποιήσιμες και αδιάλυτες ουσίες. Τα έλαια διυλίζονται για την αφαίρεση των ελεύθερων λιπαρών οξέων, των μη λιπαρών ουσιών και των ανεπιθύμητων προσμίξεων που μπορεί να περιέχουν. Με τη διαδικασία αυτή, ωστόσο, μειώνεται η περιεκτικότητά τους σε φυσικά παρουσιαζόμενους αντιοξειδωτικούς παράγοντες. Αυτό μπορεί να αποτραπεί με την προσθήκη διαφόρων αντιοξειδωτικών παραγόντων, οι οποίοι προστίθενται κατά τη διάρκεια της παραγωγής τους. Η αιθοξυκίνη είναι ο συνηθέστερος αντιοξειδωτικός παράγοντας που χρησιμοποιείται σε ιχθυέλαια (Jauncey, 1998).

3.5 Η χρησιμοποίηση ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων στις ιχθυοτροφές

Η ραγδαία αύξηση των ιχθυοκαλλιεργειών παγκοσμίως υποδηλώνει πως η ζήτηση για ιχθυοτροφές – σύμπληκτα έχει αυξηθεί με ανάλογο ρυθμό. Οι ιχθυοκαλλιέργειες στην Ευρώπη χρησιμοποιούν σαρκοφάγα είδη, κυρίως σολομό του Ατλαντικού, ιριδίζουσα πέστροφα, τσιπούρα και λαβράκι, με τις ιχθυοτροφές που καταναλώνονται για την παραγωγή αυτών των ειδών να εμπεριέχουν μεγάλες ποσότητες ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων. Μέχρι πρόσφατα, αυτή η πρακτική θεωρούνταν ορθή, καθώς το ιχθυάλευρο είναι πλούσιο στα απαραίτητα αμινοξέα,

ελκυστικό και εύπεπτο από τους εκτρεφόμενους ιχθύες, αλλά και άμεσα διαθέσιμο και φτηνό για τους παραγωγούς. Επιπρόσθετα, το ιχθυέλαιο ικανοποιεί τις υψηλές απαιτήσεις των ιχθύων για ω-3 λιπαρά οξέα και ιδιαίτερα των 20:5ω-3 και 22:6ω-3, τα οποία είναι δυσεύρετα σε άλλα συστατικά-πρώτες ύλες για ιχθυοτροφές (Jauncey, 1998).

Τα ιχθυάλευρα και ιχθυέλαια παράγονται από συγκεκριμένα αλιευμένα ιχθυαποθέματα, τα οποία πλέον έχουν φτάσει στα όρια της βιωσιμότητάς τους, με αποτέλεσμα η παγκόσμια παραγωγή ιχθυαλεύρων (περίπου 1 εκ. τόνοι ετησίως) και ιχθυελαίων (περίπου 6 εκ. τόνοι ετησίως) να παραμένει στάσιμη τα τελευταία 20-25 χρόνια. Υπολογίζεται πως το 2010 περισσότερο από το 85% της παγκόσμιας παραγωγής ιχθυελαίου και περίπου το 50% της παγκόσμιας παραγωγής ιχθυαλεύρου χρησιμοποιήθηκε στις ιχθυοκαλλιέργειες. Πέρα, όμως, από την πιθανή μελλοντική μείωση στην προσφορά των ιχθυελαίων και ιχθυαλεύρων, επιπλέον έχουν διεγερθεί ηθολογικές αντιδράσεις σχετικά με τη χρησιμοποίηση αλιευμένων ιχθύων με σκοπό την παραγωγή ζωοτροφών και όχι για την απευθείας κατανάλωσή τους από τον άνθρωπο, ιδιαίτερα όταν ένα μεγάλο μέρος του παγκόσμιου ανθρώπινου πληθυσμού υποσιτίζεται από πρωτεΐνη ζωικής προέλευσης (Καραπαναγιωτίδης, 2015).

Επιπρόσθετα, διάφοροι οικολογικοί και μη κυβερνητικοί οργανισμοί ολοένα και περισσότερο εκφράζουν την ανησυχία τους για την βιώσιμη εκμετάλλευση των ιχθυαποθεμάτων που προορίζονται για την παραγωγή ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων και τις αρνητικές επιδράσεις που έχουν υποστεί τα θαλάσσια υδάτινα οικοσυστήματα μέσω της υποβάθμισης της τροφικής αλυσίδας των θαλάσσιων θηλαστικών και πουλιών (Jauncey, 1998).

Μια άλλη ανησυχία με τα ιχθυέλαια που χρησιμοποιούνται στις ιχθυοτροφές είναι η πιθανή παρουσία οργανικών μολυσματικών παραγόντων, όπως τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs) και το 1,1-διχλωρο-2,2-δις (π-χλωροφαινυλαιθυλένιο) (DDE), διοξίνες κ.α. και οι οποίοι σε υψηλά επίπεδα γίνονται τοξικοί τόσο για τα εκτρεφόμενα ψάρια όσο και για τον άνθρωπο-καταναλωτή. Οι ουσίες αυτές είναι υποπροϊόντα διαφόρων βιομηχανιών που καταλήγουν στα υδάτινα υδρόβιους οργανισμούς και μέσω της τροφικής αλυσίδας περνούν και στα ψάρια και στα έλαια αυτών. Είναι γενικά αποδεκτό πως, τα χαμηλότερα επίπεδα αυτών των χημικών επιμολυντών βρίσκονται σε πελαγικούς ιχθύς από τη Νότια Αμερική, ενώ τα υψηλότερα σε είδη που αλιεύονται στη Βόρεια Ευρώπη. Αυξανόμενες ανησυχίες για τη καθαρότητα και την ασφάλεια των τροφών σε συνδυασμό με τις βελτιώσεις στους αναλυτικούς ελέγχους για οργανικούς μολυσματικούς παράγοντες των ιχθυοτροφών και των συστατικών τους θα οδηγήσουν μελλοντικά σε αυστηρότερους ελέγχους. Οι αρμόδιες υπηρεσίες της Ε.Ε. θέτουν συνεχώς νέα μειωμένα μέγιστα όρια αυτών των ουσιών που επιτρέπεται να περιέχονται στα ιχθυέλαια αλλά και σε άλλα συστατικά των ζωοτροφών (Jauncey, 1998).

Τέλος, όσον αφορά τις ανάγκες των εκτρεφόμενων ιχθύων σε απαραίτητα λιπαρά οξέα, αυτές μπορούν να ικανοποιούνται από χαμηλότερα επίπεδα προσθήκης από ότι κοινώς χορηγούνται στην παραγωγή, με αποτέλεσμα τα πολύτιμα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα να «ξοδεύονται» αλόγιστα. Τα σαρκοφάγα είδη που εκτρέφονται χρησιμοποιούν τα υψηλά επίπεδα ιχθυελαίων των τροφών τους περισσότερο ως καύσιμη ύλη, για την παραγωγή ενέργειας για την ανάπτυξη και αναπαραγωγή τους, εφόσον βέβαια ικανοποιήσουν πρώτα τις ανάγκες τους στα απαραίτητα λιπαρά οξέα. Με αυτόν τον τρόπο, η περίσσεια των ω-3 λιπαρών οξέων

αποθηκεύεται στους ιστούς και κάποια στιγμή μεταβολίζεται για την παραγωγή ενέργειας. Είναι, λοιπόν, ορθότερο να χρησιμοποιήσουμε στις ιχθυοτροφές κάποια φυτικά έλαια σε ένα ποσοστό, ως υποκατάστατα των ιχθυελαίων, για την παραγωγή μεταβολικής ενέργειας και να εξοικονομήσουμε τα πολύτιμα ω -3 των ιχθυελαίων αποκλειστικά για την ικανοποίηση των αναγκών του οργανισμού σε αυτά (Jauncey, 1998).

Διαφαίνεται, λοιπόν, πως είναι ζωτικής σημασίας πλέον ο κλάδος να μειώσει την εξάρτησή του στα ιχθυέλαια και ιχθυάλευρα και να παρασκευάσει βιώσιμες ιχθυοτροφές χρησιμοποιώντας φυτικής προέλευσης πρώτες ύλες. Κοινά έλαια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποκατάστατα του ιχθυελαίου είναι το λινέλαιο, το κραμβέλαιο, το φοινικέλαιο, το σιογέλαιο και το ελαιόλαδο μεταξύ άλλων, μιας και αυτά τα έλαια περιέχουν, συγκριτικά με άλλα φυτικά έλαια, χαμηλότερα ποσοστά των ω -6 λιπαρών οξέων και αυξημένα ποσοστά του 18:3 ω -3. Το χορηγούμενο 18:3 ω -3 των συγκεκριμένων φυτικών ελαίων μπορεί, κατόπιν, να χρησιμοποιηθεί από τον ιχθύ ως υπόστρωμα για τις ενδογενείς βιομετατροπές, παράγοντας ως ένα βαθμό, τα μακράς αλυσίδας ω -3 ΠΛΟ στους ιστούς του. Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί πως όλα τα έλαια και άλευρα φυτικής προέλευσης που C20 και C22 λιπαρά οξέα. Όσον αφορά τα υποψήφια άλευρα φυτικής προέλευσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποκατάστατα του ιχθυάλευρα, έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς και συνεχώς εξετάζεται η καταλληλότητα πολλών τέτοιων, με κύριο γνώμονα κατά καιρούς και συνεχώς εξετάζεται η καταλληλότητα πολλών τέτοιων, με κύριο γνώμονα την ανάπτυξη που προσδίδουν στους εκτρεφόμενους ιχθύς σε συνδυασμό με τη χαμηλή τιμή διάθεσής τους στο εμπόριο. Γενικά, πάντως, τα άλευρα φυτικής προέλευσης, συγκριτικά με τα ιχθυάλευρα, περιέχουν χαμηλότερα επίπεδα πρωτεΐνης και ορισμένων απαραίτητων

αμινοξέων, αλλά και διάφορες αντιδιατροφικές ουσίες, οι οποίες αν δεν αδρανοποιηθούν, μέσω της κατάλληλης επεξεργασίας τους, μπορεί να προκαλέσουν μείωση της ανάπτυξης, τοξικά φαινόμενα και προβλήματα υγείας στους διατρεφόμενους ιχθύς (Jauncey, 1998).

Την τελευταία δεκαετία, έχουν διενεργηθεί ένας μεγάλος αριθμός ερευνών δοκιμάζοντας την μερική υποκατάσταση ή/και την πλήρη αντικατάσταση ιχθυελαίων και ιχθυαλεύρων σε διάφορα εκτρεφόμενα είδη. Πολλά σημαντικά αποτελέσματα εξήχθησαν και από τα ευρωπαϊκά ερευνητικά προγράμματα RAFOA, PEPPA και AQUAMAX, όπου συμμετείχαν διάφορες ερευνητικές ομάδες, και από οποί δείχθηκε πως τα σαλμονοειδή μπορούν να διατραφούν με σιτηρέσια στα οποία το 100% του ιχθυελαίου έχει αντικατασταθεί από ένα φυτικό έλαιο ή μίξη φυτικών ελαίων, και πως η υποκατάσταση έως και 60% του ιχθυελαίου στο σιτηρέσιο της τσιπούρας και του λαβρακιού δεν οδηγεί σε μείωση της ανάπτυξής τους. Όσον αφορά το ιχθυάλευρο, η υποκατάστασή του μπορεί να επιτευχθεί έως και 75% από φυτικά άλευρα, χωρίς να επιφέρει μείωση στην ανάπτυξη της πέστροφας και της τσιπούρας, ενώ για το λαβράκι υπάρχουν μελέτες όπου η επιτυχία υποκατάστασης έφτασε έως και 98%. Ο σολομός, από την άλλη, δείχνει να μην είναι τόσο ικανός στο να χρησιμοποιεί αποτελεσματικά τα άλευρα φυτικής προέλευσης για την ανάπτυξή του. Ωστόσο, τα παραπάνω υψηλά ποσοστά υποκατάστασης των ιχθυελαίου επιτεύχθηκαν με την παράλληλη προσθήκη σημαντικών ποσοτήτων ιχθυαλεύρων στα σιτηρέσια, και παρόμοια, η υψηλού ποσοστού υποκατάσταση του ιχθυάλευρου επιτεύχθηκε με παράλληλη χρησιμοποίηση σημαντικών ποσοτήτων ιχθυελαίων στις δοκιμαζόμενες ιχθυοτροφές. Οπότε, η ταυτόχρονη υποκατάσταση τόσο του ιχθυελαίου όσο και του ιχθυαλεύρου στις

ιχθυοτροφές των διαφόρων ειδών εξακολουθεί να αποτελεί ένα μελλοντικό στοίχημα της έρευνας (Jauncey, 1998). .

Οι υποκαταστάσεις των ιχθυελαίων και ιχθυαλεύρων μπορεί να μην επιφέρουν πάντοτε αρνητικές επιδράσεις στο ρυθμό ανάπτυξης των εκτρεφόμενων ιχθύων, αναπόφευκτα όμως οδηγούν σε μείωση των συγκεντρώσεων των 20:5ω-3 και 22:6ω-3 στο σώμα των ιχθύων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως τα φυτικά προϊόντα είναι ελλιπή σε 20:5ω-3 και 22:6ω-3, ενώ οι περιπτώσεις που περιέχουν σημαντικά ποσά του 18:3ω-3, οι εκτρεφόμενοι ιχθύες βιοσυνθέτουν ενδογενώς τα παράγωγά του, δηλαδή 20:5ω-3 και 22:6ω-3, σε ποσά που είναι χαμηλότερα από εκείνα που θα υπήρχαν στους ιστούς τους αν διατρέφονταν με ιχθυάλευρα και ιχθυέλαια. Για παράδειγμα, η υποκατάσταση ιχθυελαίου με 60% φυτικά έλαια επιφέρει μείωση έως και 50% στις συγκεντρώσεις των δύο παραπάνω λιπαρών οξέων στη σάρκα της τσιπούρας. Όμως, δεν είναι μόνο τα ω-3 λιπαρά οξέα των οποίων οι συγκεντρώσεις μειώνονται μέσω των υποκαταστάσεων. Η βιοδιαθεσιμότητα και η πεπτικότητα όλων των θρεπτικών συστατικών μπορεί να επηρεαστεί αρνητικά λόγω κάποιων αντιδιατροφικών ουσιών που περιέχονται στα φυτικά προϊόντα. Έτσι, οι υποκαταστάσεις ελλοχεύουν τον κίνδυνο μείωσης πολύτιμων ιχνοστοιχείων και βιταμινών που έχουν συνδεθεί με την υψηλή διατροφική αξία των ιχθύων, όπως οι βιταμίνες B12, D και E, τα καροτενοειδή, το ιώδιο και το σελήνιο.

Για τη διατήρηση των ω-3 ΠΛΟ στη σάρκα των εκτρεφόμενων ιχθύων και ταυτόχρονα τη μείωση τους κόστους διατροφής και την ταυτόχρονη μείωση της αλιευτικής πίεσης στα φυσικά αποθέματα, έχει υιοθετηθεί μια πρακτική τα τελευταία χρόνια που είναι πολλά υποσχόμενη. Η πρακτική αυτή έγκειται στο γεγονός πως αν διαθρέψουμε τα ψάρια με φυτικά έλαια για την πλειονότητα της περιόδου εκτροφής

τους και κατόπιν τους χορηγήσουμε ιχθυέλαια κάποιους μήνες πριν τη συγκομιδή τους, τότε έχει δειχθεί πως τα ω-3 ΠΛΟ στη σάρκα των ψαριών επανέρχονται σε τέτοια επίπεδα ως αν είχαν διαγραφεί από την αρχή της εκτροφής με ιχθυέλαια (Jauncey, 1998).

3.6 Άλευρα καρκινοειδών

Πρόκειται για άλευρα από την επεξεργασία κυρίως γαρίδων, καβουριών και καλαμαριών. Τα υπολείμματα της επεξεργασίας γαρίδας, καβουριού, καλαμαριών (ψίχα ή/και κελύφη ή/και διάφορα τμήματα εξωσκελετού κλπ.) υπόκεινται σε ξήρανση για την παραγωγή αλεύρων με περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες πάνω από 40% που στην περίπτωση των αλεύρων καλαμαριών μπορεί να φτάσουν έως και 78%. Τα άλευρα αυτά πέραν της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε πρωτεΐνες αποτελούν πλούσια πηγή διαφόρων ανοργάνων στοιχείων, κυρίως Ca πολυακόρεστων λιπαρών οξέων, καροτινοειδών χρωστικών και είναι αρκετά ελκυστικά/εύγεστα στα εκτρεφόμενα ψάρια. Η περιεκτικότητα σε τέφρα των αλεύρων γαρίδας και καβουριών είναι υψηλότερη από ότι στα ιχθυάλευρα λόγω της αυξημένης ποσότητας εξωσκελετών κατά την παρασκευή τους. Στην κατηγορία των αλεύρων θαλάσσιας προέλευσης επίσης ανήκουν τα άλευρα από κριλλ, τα οποία είναι μικρά καρκινοειδή (ευφασιώδη) που μοιάζουν με γαρίδες και αλιεύονται κυρίως στην Ανταρκτική (Jauncey, 1998).

4. Η ΑΝΤΙΚΑΤΑΤΑΣΤΑΣΗ ΙΧΘΥΑΛΕΥΡΟΥ ΚΑΙ ΙΧΘΥΕΛΑΙΟΥ ΜΕ ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ ΚΑΙ ΛΙΠΙΔΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ

4.1 Γενικά

Οι σημαντικότερες πρωτεϊνικές πηγές φυτικής προέλευσης είναι τα άλευρα από ελαιούχους καρπούς, όπως πχ. της σόγιας, τον βαμβακόσπορο, την σπόρο ελαιοκράμβης, τις αραχίδες, τους ηλιόσπορους, τις καρύδες κ.α. Τα άλευρα αυτά παράγονται από την άλεση και αποξήρανση του υπολείμματος (τρίμμα) που παραμένει μετά την εξαγωγή του λαδιού (ελαίου) από τους ελαιούχους καρπούς. Τα έλαια μπορεί να αφαιρεθούν-εξαχθούν είτε μηχανικά (με πρεσσάρισμα) είτε με επεξεργασία των καρπών με διαλύτες και αποτελούν και αυτά (φυτικά έλαια) συστατικά που χρησιμοποιούνται στις ιχθυοτροφές και ζωοτροφές. Η περιεκτικότητα των αλεύρων αυτών σε πρωτεΐνες είναι υψηλή 30-50%, αλλά αρκετά χαμηλότερη από την αλεύρων ζωικής προέλευσης (Καραπαναγιωτίδης, 2015).

Ως συμπληρώματα πρωτεΐνης έχουν να κάνουν με τη χαμηλότερη τιμή διάθεσής τους στην αγορά, συγκριτικά με τα ιχθυάλευρα, αν και η τιμή τους πολλές φορές είναι απρόβλεπτη επηρεαζόμενες κατά πολύ από τις δυνάμεις της προσφοράς και ζήτησης

- Έχουν αυξημένα επίπεδα ινωδών ουσιών παρέχοντας έτσι συγκολλητικές ιδιότητες κατά την παρασκευή ιχθυοτροφών.
- Αποτελούν πλούσιες πηγές των βιταμινών του συμπλέγματος Β.
- Είναι πλούσια σε Ρ, αλλά φτωχοί σε Ca και βιταμίνη Ε.
- Είναι φτωχά σε μεθειονίνη, λυσίνη και θρεονίνη
- Έχουν υψηλότερα επίπεδα αμινοξέων

- Δεν διαθέτουν πολυακόρεστα λιπαρά οξέα με 20 και πάνω άτομα άνθρακες, όπως τα 20:5ω-3, 22:6ω-3 και 20:4ω-6 και τα οποία είναι διατροφικά απαραίτητα για όλους τους ζωικούς οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένων των ψαριών και των ανθρώπων.
- Είναι λιγότερα εύγεστα-αποδεκτά και εύπεπτα από τα ψάρια συγκριτικά με ιχθυάλευρα εξαιτίας της υψηλότερης περιεκτικότητάς τους σε υδατάνθρακες και ινώδεις ουσίες.
- Είναι η περιεκτικότητά τους σε αντι-διατροφικούς παράγοντες (Jauncey, 1998).

Οι αντι-διατροφικοί παράγοντες αποτελούν ενώσεις που παρεμποδίζουν τη πέψη και το μεταβολισμό των θρεπτικών ουσιών των τροφών και συμπεριλαμβάνουν περιμποδιστές πρωτεασών, τοξικές ουσίες, αντιβιταμινικές ουσίες, αιμοσυγκολλητικές ουσίες κλπ. Οι παράγοντες αυτοί περιέχονται σε πάρα πολλά φυτικά προϊόντα, ενώ αντίθετα είτε σπανίζουν είτε απουσιάζουν στα ζωικά προϊόντα.

Όταν καταναλωθούν σε μεγάλες ποσότητες μειώνουν την πεπτικότητα της τροφής και την ανάπτυξη του ψαριού.

Οι αντιδιατροφικοί παράγοντες είναι:

Φυτικό οξύ

- Εξα-φωσφορικός εστέρας της ινοσιτόλης.
- Ενώνεται και δεσμεύει τον φώσφορο της τροφής με αποτέλεσμα να τον κάνει λιγότερο διαθέσιμο για τα ψάρια διότι δε διαθέτουν τα κατάλληλα ένζυμα για την υδρόλυσή του.
- Επίσης δεσμεύει Mg, Ca, Mn, Cu, Fe, Mo

- Περιέχεται σε πολλές φυτικές τροφές (στον φλοιό των καρπών, αλλά και στο ενδοκάρπιο), όπως σόγια, λινάρι, καλαμπόκι, φυστίκια, σιτάρι, κριθάρι, βρώμη, φασόλια κλπ.
- Προκαλεί μείωση των βιοδιαθεσιμότητας των ανόργανων στοιχείων (διατροφική έλλειψη) και μείωση της πεπτικότητας της πρωτεΐνης της τροφής που την περιέχει
- Η θερμική επεξεργασία της τροφής που το περιέχει δεν το υδρολύει (καταστρέφει) αρκετά, αλλά η επεξεργασία με οξέα είναι περισσότερο αποτελεσματική (π.χ. σογιάλευρο, εξαχθέν με διαλύτες περιέχει λιγότερο φυτικό οξύ από το σογιάλευρο που έχει εξαχθεί με μηχανικά μέσα) (Jauncey, 1998). .

Παρεμποδιστές πρωτεασών

- Ενώσεις που αναστέλλουν την ενεργότητα των πρωτεασών (ένζυμα και καταβολίζουν τις πρωτεΐνες)
- Π.χ. αντιθρυψίνη-παρεμποδιστής της θρυψίνης, αντιχυμοθρυψίνη-παρεμποδιστής της χυμοθρυψίνης
- Περιέχεται σε πολλές φυτικές τροφές όπως σόγια, ηλίανθος, κριθάρι, ρύζι, σιτάρι, καλαμπόκι, τριφύλλι κλπ.
- Προκαλεί τη μείωση της πεπτικότητας της συνολικής πρωτεΐνης της τροφής
- Καταστρέφονται με τη θερμική επεξεργασία, πίεση ή υδρόλυση των τροφών
- Υπάρχουν και παρεμποδιστές των ενζύμων που καταβολίζουν τους υδατάνθρακες π.χ. αντι-αμυλάση-μειώνει την πεπτικότητα του αμύλου (Jauncey, 1998). .

Γλυκοζίτες

- Κυρίως κυανιο-γόννοι γλυκοζίτες και θειο-γλυκοζίτες (σαπωνίνες), κυανιο-γόννοι γλυκοζίτες, ενώσεις που όταν πέπτονται προκύπτει κυάνιο περιέχονται κυρίως στα ζαχαρότευτλα, πατάτες, λινάρι, μπιζέλια, ελαιοκράμβη κ.α.
- Οι σαπωνίνες προκαλούν τη δυσλειτουργία του θυρεοειδούς αδένος και δυσπεψίες περιέχονται κυρίως στα φασόλια, φακή, μπιζέλια, τριφύλλι, σόγια κ.α.
- Καταστρέφονται μερικώς με τη θερμική επεξεργασία των τροφών
- Έχουν δημιουργηθεί γενετικά τροποποιημένα υβρίδια τροφών που περιέχουν χαμηλότερα επίπεδα γλυκοζιτών π.χ. η «κάνολα» (υβρίδιο ελαιοκράμβης) (Jauncey, 1998). .

Αντι-βιταμινικές ουσίες

Ανταγωνιστική ή ανασταλτική δράση ενάντιας στις βιταμίνες

Π.χ. ανταγωνιστική στην βιταμίνη Ε (σόγια, βαμβακόσπορος, μπιζέλια, φασόλια)

Ανταγωνιστική της Β1 (λιναρόσπορος)

Ανταγωνιστική της Α, D, Β12 (σόγια)

Ανταγωνιστική της Β6 (λιναρόσπορος) (Jauncey, 1998). .

Γκοσσυπόλη

- Πολύ-φαινολική ένωση
- Τοξική σε μεγάλες ποσότητες
- Περιέχεται κυρίως στον βαμβακόσπορο

- Προκαλεί απότομη ανορεξία στα ψάρια, αλλοίωση ιστών, καρκίνο ήπατος, νεφρών κα.
- Καταστρέφεται με τη θερμική επεξεργασία των τροφών
- Υβρίδια βαμβακόσπορου χωρίς γκοσσυπόλη (Jauncey, 1998). .

Ταννίνες

- Πολύ-φαινολικές ενώσεις
- Προκαλεί την αναστολή της έκκρισης των πεπτικών ενζύμων
- Περιέχεται κυρίως στους φλοιούς των ζαχαρότευτλα, φάβα, φασόλια, γογγύλια, ηλίανθο, σόργο
- Επιφέρει δυσλειτουργία των κυττάρων του βλεννογόνου του εντέρου, αναστολή της απορρόφησης των θρεπτικών ουσιών, δυσπεψία κ.α.
- Καταστρέφονται εύκολα με τη θερμική επεξεργασία των τροφών, αποφλοιώση των καρπών επίσης αποτελεσματική, γενετικά τροποποιημένα όσπρια με λιγοστές ταννίνες (Jauncey, 1998). .

Αλκαλοειδή

- Πολύπλοκες αζωτούχες ενώσεις όπως π.χ. καφεΐνη, νικοτίνη, μορφίνη, στρυχνίνη κ.α.
- Δημιουργούνται από διάφορα αμινοξέα π.χ. λυσίνη, τρυπτοφάνη, φαινυλαλανίνη, ορνιθίνη
- Βρίσκονται κυρίως σε ανώτερα φυτά – δέντρα, τα οποία όμως δεν αποτελούν κοινά συστατικά των ιχθυοτροφών

- Προκαλεί διαταραχές της λειτουργίας του νευρικού συστήματος, νέκρωση κυττάρων ήπατος
- Κάποια αλκαλοειδή είναι δηλητηριώδη και άλλα έχουν φαρμακευτική δράση (Jauncey, 1998). .

Αιμοσυγκολλητίνες

- Αζωτούχες ενώσεις
- Περιέχεται στη σόγια
- Προκαλεί πήξη του αίματος
- Καταστρέφεται με τη θερμική επεξεργασία των τροφών
- Ωστόσο αδρανοποιείται ούτως ή άλλως από την πεψίνη του στομάχου των ψαριών, αποτελεί πρόβλημα μόνο σε ψάρια που δε διαθέτουν στόμαχο
- Κυκλο-προπυνοϊκά λιπαρά οξέα
- Λιπαρά οξέα μικρής και κυκλικής ανθρακικής αλυσίδας
- Περιέχεται στον βαμβακόσπορο
- Προκαλεί δυσλειτουργία του ήπατος, αναστολή της δεσμεύσεως των λιπαρών οξέων κ.α. (Jauncey, 1998).

Η μεγάλη ποικιλία των διαθέσιμων φυτικών υλών για την παρασκευή τροφών για τα ψάρια περιλαμβάνει τις ακόλουθες ομάδες: ελαιόσποροι και έλαια καρπών (όπως η σόγια, ο βαμβακόσπορος, το φυσικάλευρο και ο ηλίανθος), τα δημητριακά (όπως το σιτάρι, το καλαμπόκι, το ρύζι, και το σόργο), όσπρια, ρίζες και βολβοί (όπως ταπιάκα), άλγη και υδρόβια φυτά (π.χ. υάκινθος του νερού).

Οι πρωτεϊνικές πηγές φυτικής προέλευσης διαφέρουν πολύ σημαντικά στις τιμές των θρεπτικών τους συστατικών με τα περισσότερα να είναι ελλιπή σε τουλάχιστον ένα

απαραίτητο αμινοξύ και μερικά να έχουν υψηλά ποσοστά ινωδών ουσιών. Επίσης, μερικά φυτικά συστατικά περιέχουν αντιδιατροφικούς παράγοντες και τοξίνες που μπορούν να μειώσουν σημαντικά την ανάπτυξη των ψαριών. Ωστόσο, κάποιοι παράγοντες μπορούν να αδρανοποιούν ή να καταστρέφονται με κατάλληλες μεθόδους επεξεργασίας όπως π.χ την ενυδάτωση ή τη θερμική επεξεργασία (Jauncey, 1998).

4.2 Σογιάλευρο

Ενδημικό στην Ανατολική Ασία, παράγεται επίσης στην Βόρεια και Νότια Αμερική. Είναι διαθέσιμο σε όλον τον κόσμο όλο το χρόνο (220 εκ, τόνων ετησίως) και σχετικά φτηνό. Καλλιεργείται κυρίως για το λάδι του (σογιέλαιο), καρπός προορίζεται για κατανάλωση από τον άνθρωπο, η λεκιθίνη σόγιας χρησιμοποιείται ως γαλακτωματοποιητής στην τεχνολογία τροφίμων.

Το σογιάλευρο, αποτελεί το κατεξοχήν συστατικό αντικατάστασης της πρωτεΐνης του ιχθυάλευρου στις ιχθυοτροφές πολλών εκτρεφόμενων ειδών και η συνεισφορά του στη μερική ή ολική αντικατάσταση του ιχθυάλευρου έχει μελετηθεί εκτενώς με διάφορους βαθμούς επιτυχίας (Webster and Lim, 2002) (πίνακας 4). Επίσης, το σογιάλευρο είναι πολύ φτωχό σε βιταμίνες του συμπλέγματος Β και σε μερικά ανόργανα στοιχεία (Jauncey, 1998) (πίνακας 5).

Περιέχει:

- Πρωτεΐνη 44-49% (με καλό προφίλ σε απαραίτητα αμινοξέα (ΑΑ), φτωχό σε μεθειονίνη
- Σημαντικά ποσά του 18:3ω-3
- Αντιθρυψινικούς παράγοντες που όμως καταστρέφονται έπειτα από θερμική επεξεργασία

- Χαμηλά επίπεδα ινωσών ουσιών (άπεπτοι υδατάνθρακες) (Jauncey, 1985)

Πίνακας 4. Προτεινόμενα επίπεδα σογιάλευρου στις ιχθυοτροφές

Σόγια, καρπός σπασμένος		<10% του σιτηρεσίου
Άλευρο χωρίς λίπος		< 30% της πρωτεΐνης
Άλευρο, με λίπος, θερμικά επεξεργασμένο		Ή < 75% της πρωτεΐνης αν προστεθεί με μεθειονίνη <40% του σιτηρεσίου

Πίνακας 5. Χαρακτηριστικά ποσοστά (% της υγρής ουσίας τροφής) της θρεπτικής σύστασης σογιάλευρου

	Ξηρά ουσία	Πρωτεΐνη	Λιπίδια	Ινώδεις ουσίες	Υδατάνθρακες	Τέφρα
Καρπός με φλοιό	91	26	11	19	36	7
Άλευρο, με φλοιό μηχανική εξαγωγή	84-91	44-47	6-8	5-8	32-34	6-7
Άλευρο, χωρίς φλοιό μηχανική εξαγωγή	90,0	47	5	6	0	6
Άλευρο, με φλοιό Εξαγωγή με διαλύτη	88-90	49-56	0,5-1,5	5-7	32-46	6-7
Άλευρο, χωρίς φλοιό Εξαγωγή με διαλύτη	89-90	54-56	1	3-4	33-34	6-6
Πεπτικότητα	64	91	73	0	6	68

4.3 Ελαιοκράμβη

Είναι από τα σημαντικότερα ελαιοπαραγωγά φυτά. Καλλιεργείται κυρίως για την παραγωγή ελαίου (30-50% του καρπού). Σε μικρότερη έκταση χρησιμοποιείται για τα φύλλα της (για ανθρώπινη κατανάλωση, ζωοτροφή και λίπανση). Μετά την εξαγωγή του ελαίου, τα υπολείμματα – άλευρο χρησιμοποιούνται για ζωοτροφές. Στην Ε.Ε. χρησιμοποιείται ως το κύριο βιοκαύσιμο λόγω της υψηλότερης απόδοσης σε λάδι ανά στρέμμα. Πχ. 1 στρέμμα ελαιοκράμβης παράγει 12-250 κιλά σπόρος και κατ'επέκταση 43-9- λίτρα βιοντίζελ.

Η διαθεσιμότητα της ελαιοκράμβης στην παγκόσμια αγορά ολοένα και αυξάνει (46 εκατομμύρια τόνοι το 2006). Κύριες παραγωγικές χώρες ΕΕ, Καναδάς, ΗΠΑ, Αυστραλία, Κίνα, Ινδία.



Εικόνα 6. Ελαιοκράμβη (gaiapedia2)

Περιέχει:

- Πρωτεΐνη 38%
- Ισορροπημένα AA, πλούσια σε CYS, μέτρια σε LYS, φτωχή σε MET
- Σχετικά μεγάλο ποσοστό ινωδών ουσιών
- Η πεπτικότητα, η ενεργειακή αξία και γενικά η διατροφική αξία του για τα ψάρια δεν έχει μελετηθεί αρκετά
- Περιέχει πολύ σημαντικά ποσά 18:3ω-3 (σπάνιο για φυτά)
- Φαρμακευτικές ιδιότητες, λόγω του υψηλού 18:3ω-3
- Περιέχει ταννίνες, θειογλυκοζίτες
- Το έλαιό του είναι πλούσιο (50%) σε ερουκικό οξύ 22:1ω-9 (ελαφρώς τοξικό)
- Το Canola (CANadian Oil – Low Acid), γενετικά τροποποιημένο περιέχει τους μισούς θειογλυκοζίτες και 22:1ω-9
- Προτεινόμενα επίπεδα προσθήκης στο σιτηρέσιο <50% σιτηρεσίου, καλύτερα <15% λόγω των θειογλυκοζιτών
- Αν και δεν έχει μελετηθεί η πεπτικότητα σε πολλά είδη δείχνει ότι δεν είναι τόσο υψηλή, όπως η σόγια (Jauncey, 1985)

4.4. Φοινικάλευρο

Είναι το δεύτερο σε παγκόσμια παραγωγή ελαιοπαραγωγό φυτό, ενδημικό στη Δυτική Αφρική. Επίσης, το φοινικάλευρο από το *Elaeis oleiofera* που ενδημεί στην Κεντρική και Νότια Αμερική. Τα δέντρα του φτάνουν τα 20 μέτρα και τα φύλλα του τα 3-5 μέτρα. Οι καρποί του παράγονται σε δέσμη, κάνουν 5-6 μήνες να ωριμάσουν (περικόρπιο, ενδοκόρπιο). Κάθε δέσμη καρπών ζυγίζει 10-40 κιλά. Η παραγωγή του

δίνει σε 1 στρέμμα, 1 τόνο καρπών από όπου παράγεται 300 κιλά λαδιού και 75 κιλά ενδοκάρπιο. Χρησιμεύει και ως βιοκαύσιμο.

Περιέχει (πίνακας 6):

- Σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα πρωτεΐνης, αλλά υψηλής βιολογικής αξίας (εκτός MET)
- Καλή πηγή Ca, P συγκριτικά με άλλους ελαιούχους καρπούς
- Δεν περιέχει τοξικές ουσίες και αντιδιατροφικές παράγοντες
- Πολύ φτωχή γεύση, πολλές ινώδεις ουσίες, υψηλά κορεσμένα λιπαρά οξέα

Προτεινόμενα επίπεδα προσθήκης στο σιτηρέσιο <15% σιτηρεσίου (Jauncey, 1985)

Πίνακας 6. Χαρακτηριστικά ποσοστά (% της υγρής ουσίας της τροφής) της θρεπτικής σύστασης του φοινικάλευρου

	Ξηρά ουσία	Πρωτεΐνη	Λιπίδια	Ινώδεις ουσίες	Υδατάνθρακες	Τέφρα
Άλευρο, μηχανική εξαγωγή	89	20	11	17	49	4
Άλευρο, Εξαγωγή με διαλύτη	90	18	3,5	22	50	5

4.5. Μικροφύκη

Τα μικροφύκη είναι μικροσκοπικοί φωτοσυνθετικοί οργανισμοί οι οποίοι βρίσκονται σε γλυκά και αλμυρά (θαλασσινά) νερά. Ο μηχανισμός τον οποίο χρησιμοποιούν για να πραγματοποιήσουν την φωτοσύνθεση είναι παρόμοιος με αυτόν που χρησιμοποιείται από τους φυτικούς οργανισμούς του εδάφους.

Το προηγούμενο εξηγείται από την απλή κυτταρική δομή και το γεγονός ότι αποτελούν μέρος ενός υδατικού συστήματος, οπότε η χρήση του νερού, του CO₂ και των θρεπτικών συστατικών από αυτούς τους μικροοργανισμούς παρουσιάζει αυξημένη απόδοση, όπως και η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε βιομάζα. Η απουσία μη φωτοσυνθετικών υποστηρικτικών δομών (ρίζες, κοτσάνια) αποτελεί άλλο ένα πλεονέκτημα των μικροφυκών, τα οποία βρίσκονται, προφανώς, σε υδατικό περιβάλλον, σε σύγκριση με τους άλλους φυτικούς μικροοργανισμούς (Gouveia, 2011).

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα της χρήσης μικροφυκών για την παραγωγή βιοντίζελ, και βιοκαυσίμων γενικότερα, αποτελεί το γεγονός ότι είναι η μόνη ανανεώσιμη πηγή για την επίτευξη αυτού του σκοπού. Επιπρόσθετα, τα μικροφύκη έχουν μικρότερο πολύ μικρότερο αντίκτυπο στο περιβάλλον και στην παγκόσμια αγορά τροφίμων από τις λοιπές συμβατικές πηγές όπως η βιοαιθανόλη. Ακόμη, στη σύγκριση του βιοντίζελ που παράγεται από μικροφύκη με αυτό που παράγεται από τις υπόλοιπες «πράσινες» πηγές, το πρώτο παρουσιάζει υψηλότερη θερμιδική αξία (calorific value), χαμηλότερο ιξώδες και χαμηλότερη πυκνότητα, ιδιότητες που το καθιστούν προτιμότερο από αυτό που παράγεται από τους περιβαλλοντικά φιλικούς ανταγωνιστές των μικροφυκών. Επίσης, τα μικροφύκη έχουν υψηλό λιπιδιακό περιεχόμενο και υψηλές τιμές παραγωγικότητας. Η επιλογή από μία πληθώρα στελεχών για τη βελτιστοποίηση της παραγωγής και της παραγωγικότητας ταυτόχρονα, αποτελεί αποκλειστικό προνόμιο της παραγωγής βιοντίζελ από μικροφύκη. Επίσης, διαφορετικά στελέχη μπορούν να επιλεγούν ώστε να παραχθεί βιοντίζελ διαφορετικών προδιαγραφών. Επίσης, τα μικροφύκη χρησιμοποιούνται για την παραγωγή διαφόρων άλλων προϊόντων, εκτός από τα βιοκαύσιμα, όπως τρόφιμα, συμπληρώματα διατροφής, ωμέγα-3 λιπαρά οξέα, ζωοτροφές, πηγές ενέργειας (βιοντίζελ, βιοαιθανόλη, βενζίνη, αεροπορικά καύσιμα),

οργανικά λιπάσματα, βιοδιασπώμενα πλαστικά, ανασυνδυασμένες πρωτεΐνες, βαφές, ιατρικά και φαρμακευτικά προϊόντα καθώς και εμβόλια (Gouveia, 2011).

Μετά από ορισμένα χρόνια, εκτιμάται ότι τα μικροφύκη θα αποτελέσουν την κύρια ανανεώσιμη πηγή καυσίμων. Συνοπτικά, παρουσιάζονται στη συνέχεια τα πλεονεκτήματα της χρήσης τους για την επίτευξη αυτού του σκοπού (Walker et al. 2005).

- Αυξημένη μετατροπή φωτονίων από την ηλιακή ακτινοβολία (περίπου 3.8% αντί 0.5% των φυτικών οργανισμών στη Γη).
- Αυξημένη παραγωγή βιομάζας σε σύγκριση με τους υπόλοιπους φυτικούς οργανισμούς.
- Αυξημένος ρυθμός αναπαραγωγής (περίπου 1-3 διπλασιασμοί ανά ημέρα).
- Υψηλή χωρητικότητα για δέσμευση CO₂.

Είναι δυνατή η ανάπτυξη τους σε υγρό μέσο με ευκολία χειρισμού και δυνατότητα χρήσης αλμυρού (θαλασσινού) νερού, καθώς και της απορροής ενός βιολογικού καθαρισμού, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο τη χρήση γλυκού νερού, οπότε και τις απαιτήσεις σε αυτό.

Δυνατότητα χρήσης αζώτου και φωσφόρου από υγρά λυμάτων διαφόρων ειδών δραστηριοτήτων (αγροτικές, κτηνοτροφικές, βιομηχανικές) καθώς και από αστικά λύματα (Walker et al. 2005).

Χρήση μη καλλιεργήσιμων εκτάσεων (έρημος, παραλιακές εκτάσεις), οπότε αποφυγή ανταγωνισμού με εκτάσεις όπου καλλιεργούνται τρόφιμα και εμφάνιση του διλήμματος: αγροτικές καλλιεργήσιμες εκτάσεις για τρόφιμα ή για καύσιμα;

Η παραγωγή δεν είναι εποχική και μπορεί να συλλεχθεί καθόλη τη διάρκεια του έτους (με διεργασίες διαλείποντος έργου).

Οι καλλιέργειες μπορούν να προσανατολιστούν στην παραγωγή υψηλής συγκέντρωσης πρώτων υλών (άμυλο, λάδι και βιόμαζα). Τα συστήματα παραγωγής βιόμαζας από μικροφύκη μπορούν εύκολα να προσαρμοστούν σε διάφορα επίπεδα δυνατοτήτων λειτουργίας και τεχνολογίας. Τα μικροφύκη μπορούν να καλλιεργηθούν χωρίς λιπάσματα ή φυτοφάρμακα με αποτέλεσμα την αποφυγή ρύπανσης από αυτά και τα λύματα τους. Οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x), μπορούν να ελαχιστοποιηθούν στην περίπτωση χρήσης μικροφυκών για την παραγωγή βιοντίζελ.

Η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε χημική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή μίας πληθώρας βιοκαυσίμων.

Πιο αναλυτικά, τα πρωτόνια και τα ηλεκτρόνια μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη σύνθεση βιοϋδρογόνου για καύσιμο (Bio-H_2), τα σάκχαρα και το άμυλο στη σύνθεση βιοαιθανόλης, τα έλαια στη σύνθεση του βιοντίζελ και η βιόμαζα στη σύνθεση υγρών καυσίμων με χρήση των πολυσταδιακών διεργασιών BTL (Biomass to Liquid), όπως η διεργασία Fischer-Tropsch, και στη σύνθεση βιομεθανίου. Οι συνθέσεις αυτές πραγματοποιούνται ακολουθώντας βιοχημικές, θερμοχημικές, χημικές οδούς καθώς και διεργασίες άμεσης καύσης. Η παραγωγή παραπροϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας (πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες, βαφές, βιοπολυμερή, ζωοτροφές, λιπάσματα κ.α.) (Walker et al. 2005).

Η χρήση της βιόμαζας των μικροφυκών ως τροφή οφείλεται στις πρωτεΐνες και τις βιταμίνες που περιέχονται σε αυτά. Η πλειοψηφία των βιβλιογραφικών δεδομένων όσον αφορά στο περιεχόμενο των μικροφυκών σε πρωτεΐνες, κυρίως ένζυμα, αναφέρονται σε εκτιμήσεις για την ποσότητα των λεγόμενων «ακατέργαστων» πρωτεϊνών (crude protein), οι οποίες χρησιμοποιούνται συχνά για την αξιολόγηση της διατροφικής αξίας των τροφίμων. Πιο συγκεκριμένα, η εκτίμηση των πρωτεϊνών με

αυτήν τη μέθοδο προκύπτει από μέτρηση του ολικού αζώτου μέσω υδρόλυσης της βιόμαζας των μικροφυκών. Παρόλα αυτά με τη χρήση αυτής της μεθόδου γίνεται μία υπερεκτίμηση του περιεχομένου των μικροφυκών σε πρωτεΐνες, αφού εκτός από αυτές, άζωτο περιέχουν και άλλες οργανικές ενώσεις που βρίσκονται στη βιόμαζα των μικροφυκών, όπως νουκλεϊκά οξέα, αμίνες και ενώσεις που συγκροτούν το κυτταρικό τοίχωμα. Σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα, το 27 ποσοστό των μη πρωτεϊνικών πηγών αζώτου στη βιόμαζα των μικροφυκών ανέρχεται σε 12% για το είδος *Spirulina*, 11.5 % για το είδος *Scenedesmus obliquus* και 6 % για το είδος *Dunalliella*. (Becker, 2007).

Μία ακριβής μέθοδος αξιολόγησης της ποιότητας και της θρεπτικής αξίας των πρωτεϊνών των μικροφυκών αποτελεί ο προσδιορισμός του λόγου πρωτεϊνικής απόδοσης (Protein Efficiency Ratio - PER), ο οποίος εκφράζεται στην αύξηση του βάρους ενός ζώου ανά μονάδα πρωτεΐνης που αυτό καταναλώνει σε μικρής διάρκειας δοκιμές εκτροφής (Becker, 2007).

Επίσης, είναι δυνατή η χρήση ακόμη πιο εξειδικευμένων τεχνικών υπολογισμού του ισοζυγίου μάζας του αζώτου για τον προσδιορισμό της θρεπτικής αξίας μίας πρωτεΐνης. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκει η εκτίμηση της βιολογικής αξίας (Biological Value - BV), η οποία 28 αποτελεί έναν υπολογισμό του δεσμευμένου αζώτου που καθορίζεται για την ανάπτυξη και τη συντήρηση των λειτουργιών ενός οργανισμού (Becker, 2007).

Άλλη μία παράμετρος, η οποία καθορίζει τη θρεπτική αξία μίας πρωτεΐνης, είναι ο συντελεστής πεπτικότητας (digestibility coefficient - DC). Η καθαρή αξιοποίηση των πρωτεϊνών (Net Protein Utilization - NPU) είναι ανάλογη του γινομένου του συντελεστή πεπτικότητας (DC) με τη βιολογική αξία (BV) και αποτελεί ένα μέτρο της

πεπτικότητας της πρωτεΐνης και της βιολογικής αξίας των αμινοξέων που απορροφώνται από την τροφή. Το κυτταρικό τοίχωμα, το οποίο αποτελείται από κυτταρίνη, ανέρχεται σε ποσοστό 10% της ξηρής βιομάζας των μικροφυκών. Όμως, δεν υπάρχει δυνατότητα πέψης αυτού ούτε στον ανθρώπινο οργανισμό ούτε καθώς και στους φυτικούς οργανισμούς. Οπότε, κρίνεται αναγκαία η διάσπαση των κυττάρων ώστε οι πρωτεΐνες, ενδεχομένως και άλλα συστατικά της φυτικής βιομάζας, να αποκτήσουν πρόσβαση στα ένζυμα της πέψης (Becker, 2007).

4.6. Άλευρο Βαμβοκόσπορου (*Gossypium* sp.)

- Καλλιεργείται κυρίως για τις ίνες του και λάδι από το ενδοκάρπιό του. Είναι πλούσιο σε πρωτεΐνη (44-54%), φτωχό σε Lys, Met, Cys, Ca.
- Περιέχει γκοσσυπόλη, δεσμεύει Lys κατά την επεξεργασία. Προτεινόμενα επίπεδα προσθήκης στο σιτηρέσιο <30% του σιτηρεσίου.

4.7. Φυστικάλευρο (*Arachis hypogaea*)

Παράγεται από φυτό της Νότιας και Κεντρικής Αμερικής αλλά και του Μεξικού. Κύριες χώρες παραγωγής Κίνα, Ινδία, ΗΠΑ, Νιγηρία, Βιετνάμ. Παράγει φυστίκια, βούτυρο, γίνεται καραμελωμένο φιστίκι ή σάλτσα. Επίσης το λάδι του είναι μαγειρικό, χρησιμοποιείται σε τροφές, χρώματα, βερνίκι, σε κατασκευή εκρηκτικών υλών κλπ.

Περιέχει (Πίνακας 7):

- Πρωτεΐνη 33-57% (φτωχό σε Lys, MET, Cys)
- Φτωχό σε Ca, B12

- Καλή πηγή νικοτινικού οξέος
- Αντιοξειδωτικές ουσίες (κουμαρικό οξύ)
- Κατά την αποθήκευσή του είναι ευαίσθητο σε μυκητιάσεις, το *Aspergillus flavus* εναποθέτει τοξίνες (αφλατοξίνες)
- <25% του σιτηρεσίου (Jauncey, 1985)

Πίνακας 7. Χαρακτηριστικά της θρεπτικής σύστασης του φυσιτάλευρου

	Ξηρά ουσία	Πρωτεΐνη	Λιπίδια	Ινώδεις ουσίες	Υδατάνθρακες	Τέφρα
Σπασμένος καρπός, με φλοιό	93	22	39	21	15	2,5
Άλευρο, χωρίς φλοιό Εξαγωγή με διαλύτες	90	55	1,3	8	38	7

4.8. Ηλιάλευρο (*Helianthus annuus*)

Είναι ενδημικό φυτό της Αμερικής. Ο βλαστός του φτάνει μέχρι τα 3 μέτρα ύψος, το δε λουλούδι του μέχρι 30 εκατοστά πλάτος. Η ιδιότητά του είναι ο ηλιοτροπισμός. Παράγεται για κατανάλωση τόσο σε λάδι, όσο για τροφή πουλιών, για άλευρο σε ζωοτροφές (Πίνακας 8).

Περιέχει:

- Υψηλή πρωτεΐνη
- Καλά επίπεδα MET, Cys, φτωχό σε Lys
- Είναι πλουσιότερο σε βιταμίνη E
- Χαμηλά επίπεδα αντιδιατροφικών παραγόντων

- Όχι καλή γεύση
- Τα επίπεδα ΙΟ μπορεί να είναι υψηλά
- Αποτελεί το <25% του σιτηρεσίου

Πίνακας 8. Τα χαρακτηριστικά της θρεπτικής σύστασης του Ηλιάλευρου

	Ξηρά ουσία	Πρωτεΐνη	Λιπίδια	Ινώδεις ουσίες	Υδατάνθρακες	Τέφρα
Άλευρο, με φλοιό μηχανική εξαγωγή	92	34	9-14	13-26	23-32	6,5
Άλευρο, χωρίς φλοιό Εξαγωγή με διαλύτη	92	43-50	2-4	12-16	29	7,5

4.9. Σουσαμάλευρο (*Sesamum indicum*)

Αποτελεί ενδημικό βότανο σε Αφρική και Ασία. Φτάνει σε ύψος από 0,5 εκατοστά έως 1 μέτρο. Καλλιεργείται κατά κύριο λόγο για τον καρπό του και το λάδι του. Έχει διάφορες φαρμακευτικές ιδιότητες, είναι αντιοξειδωτικό, έχει αναλγητικές δράσεις όπως καταπολεμά τον πονόδοντο, αλλά και βοηθάει στην ίαση από ζαλάδες και άσθμα, βήχα, ενώ ενισχύει τις θηλάζουσες μητέρες, καταπολεμά την φαλάκρα και τον προστάτη. Η χρησιμοποιείται κυρίως για λάδι, αλλά κι ο καρπός (ψωμί, παστέλι κλπ.).

Περιέχει (Πίνακας 9):

- Είναι πλούσιο σε Ca, Cu, Mn, φυτοστερόλες (μειώνουν την χοληστερόλη)
- Σε αντίθεση με άλλα άλευρα είναι πλούσιο σε Μεθειονίνη (MET), Αργινίνη (ARG), Λευκίνη (LEU) και Φαινυλαλανίνη (PHE).

- Είναι φτωχό σε LYS (μπορεί να συνδυαστεί με άλευρο πλούσιο σε LYS π.χ. σόγια)
- Έχει φυτικό οξύ – δέσμευση P, Ca κ.α.
- Προσθήκη στο σιτηρέσιο <25% και απαιτείται προσθήκη προμείγματος P, Ca (Jauncey, 1985)

Πίνακας 9. Χαρακτηριστικά ποσοστά (% της υγρής ουσίας της τροφής) της θρεπτικής σύστασης του σουσαμάλευρου

	Ξηρά ουσία	Πρωτεΐνη	Λιπίδια	Ινώδεις ουσίες	Υδατάνθρακες	Τέφρα
Άλευρο, μηχανική εξαγωγή	83-94	32-44	1-17	5-20	22-32	11-18
Άλευρο, Εξαγωγή με διαλύτη	94	44	1,4	8,2	31,5	14,9

4.10. Άλευρο καρύδας (*Cocos nucifera*)

Είναι ενδημικό φυτό της Ν. Ασίας και της Βραζιλίας. Φύεται σε αμμώδεις εκτάσεις καθόσον απαιτεί το φυτό ήλιο και υγρασία. Φτάνει 30 μέτρα ύψος και παράγει 75 καρπούς ανά έτος. Όλα τα μέρη του δέντρου χρησιμοποιούνται. Ειδικά ο καρπός του χρησιμοποιείται στην μαγειρική, ως ρόφημα (γάλα, χυμός, κρασί), το εξωκάρπιο για ζωοτροφές. Επίσης παράγει λάδι, βιοκαύσιμο, ξυλεία, καύσιμη ύλη, φάρμακα, καλλυντικά κ.ά. Περιέχει την λιγότερη ζάχαρη αλλά και την περισσότερη πρωτεΐνη από ότι η μπανάνα, το μήλο και το πορτοκάλι. Ο καρπός είναι κατά 13% φαγώσιμο, 62% λάδι και 25% φλοιό. Έχει χαμηλή τιμή στην αγορά. Δεν έχει καλή γευστικότητα.

Περιέχει (πίνακας 10):

- Είναι πλούσια πηγή P, Zn, Fe
- Φτωχό σε Ca
- Δεν περιέχει τοξίνες αν αποφλοιωθεί (ο φλοιός περιέχει 19% ταννίνες και αντιτρυψίνη)
- Έχει υψηλά επίπεδα ινωδών ουσιών
- Το λίπος του είναι κατά 90% κορεσμένο (περισσότερα κορεσμένα από το βούτυρο)
- Ως άλευρο ευπάθεια κατά την αποθήκευσή του
- Απευθύνεται ως τροφή σε χορτοφάγα – παμφάγα είδη ενώ αποτελεί <15% στο σιτηρέσιο (Jauncey, 1985)

Πίνακας 10. Χαρακτηριστικά ποσοστά (% της υγρής ουσίας της τροφής) της θρεπτικής σύστασης του αλεύρου της καρύδας

	Ξηρά ουσία	Πρωτεΐνη	Λιπίδια	Ινώδεις ουσίες	Υδατάνθρακες	Τέφρα
Άλευρο, μηχανική εξαγωγή	88-93	18-25	5-18	8-16	48-54	5-6
Άλευρο, Εξαγωγή με διαλύτη	91-93	20-24	450,5-4	15-26	46-54	6,5-7

4.11. Άλλα άλευρα ελαιούχων καρπών

Άλλες εναλλακτικές πηγές πρωτεΐνης που χρησιμοποιούνται στις δίαιτες των εκτρεφόμενων ψαριών συμπεριλαμβάνουν διάφορα ζωικά προϊόντα (π.χ. αιματάλευρα, πτηνάλευρα κλπ.), άλευρα ελαιούχων καρπών (π.χ. βαμβακόπιτα, φυσιτάλευρο, άλευρο καρύδας κλπ.) διάφορα άλευρα υδρόβιων φυτών (π.χ. άλευρο από azolla), διάφορες πρωτεΐνες μικροοργανισμών (π.χ. μαγιά), δημητριακά (π.χ. σιτάρι, καλαμπόκι κλπ.), όσπρια (π.χ. άλευρο φάβας, φασολιού κλπ.) και συμπυκνωμένες φυτικές πρωτεΐνες που είναι διατεθειμένες για τα ψάρια (El-Sayed, 1999).

Σε έρευνα που έγινε μελετήθηκαν οκτώ διαφορετικές πρωτεϊνικές πηγές σε δίαιτες ψαριών και ειδικότερα μελέτησαν τη διαθεσιμότητα αυτών σε αμινοξέα και την πεπτικότητα της περιεχόμενης πρωτεΐνης.

Συγκεκριμένα μελετήθηκαν τέσσερις πρωτεϊνικές πηγές ζωικής προέλευσης (ιχθυάλευρο, μίγμα κρεατάλευρου και οστεάλευρου, υποπροϊόν σφαγίου πουλερικών και πετράλευρο) και τέσσερις πρωτεϊνικές πηγές φυτικής προέλευσης (σογιάλευρο, βαμβακόσπορος με 28% περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, βαμβακόσπορος με 38% περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και γλουτένη καλαμποκιού). Μεταξύ των συστατικών ζωικής προέλευσης, το άλευρο υποπροϊόντων πουλερικών και το ιχθυάλευρο παρουσίασαν την υψηλότερη φαινομένη πεπτικότητα πρωτεΐνης (ΦΠΠ) (89% και 88,6% αντίστοιχα), ενώ το μίγμα κρεατάλευρου και οστεάλευρου και το πετράλευρο παρουσίασαν την χαμηλότερη ΦΠΠ (78,4% και 78,5% αντίστοιχα). Από τα φυτικής προέλευσης συστατικά, η γλουτένη καλαμποκιού και το σογιάλευρο παρουσίασαν τις υψηλότερες τιμές ΦΠΠ (91,4% και 92,4% αντίστοιχα), σε σύγκριση με τον βαμβακόσπορο-28 και τον βαμβακόσπορο-38 που παρουσίασαν τη χαμηλότερη ΦΠΠ

(78,6% εξίσου). Οι μέσοι όροι της διαθεσιμότητας των αμινοξέων των διαιτητικών συστατικών ήταν παρόμοια με την πεπτικότητα της πρωτεΐνης με τις τιμές 92,3%, 89,6%, 73,4%, 80,7%, 88,9%, 84,4%, 91,2% και 79,7% για το σογιάλευρο, τη γλουτένη καλαμποκιού, το βαμβακόσπορο-28, το βαμβακόσπορο-38, το ιχθυάλευρο, το μίγμα κρεατάλευρου και οστεάλευρου και το πετράλευρο, αντίστοιχα (Guimaraes et al. 2008).

Για τις διαιτητικές ανάγκες σε μεθειονίνη στις πρακτικές δίαιτες των μικρών ψαριών διεξήχθησαν δύο πειράματα. Οι δίαιτες που χρησιμοποιήθηκαν και τα δύο πειράματα περιελάμβαναν 414 kcal ολικής ενέργειας, 28g πρωτεΐνης και 5g λιπιδίων ανά 100g δίαιτας.

- Άλευρο κακάο (26% πρωτεΐνες, 6% λίπος, 10% ΙΟ, 50% υδατάνθρακες, πλούσιο σε Lys, φτωχό σε MET, ARG, περιέχει αλκαλοειδή, φτωχή γεύση)
- Άλευρο μουστάρδας (40% πρωτεΐνες, περιέχει τοξίνες)
- Άλευρο από Ρίκινο (καστορέλαιο, ρητινέλαιο, ρετσινόλαδο, λιπαντικά, σαπούνια, χρωστικές, νάϋλον κλπ.)
- Άλευρο ως παραπροϊόν (38% πρωτεΐνες, 32% ΙΟ, περιέχει ρετσίνι και τοξίνες).
- αποτελούν προσθήκη <5-10% στο σιτηρέσιο (Jauncey, 1998).

5. Η ΑΝΤΙΚΑΤΑΤΑΣΤΑΣΗ ΙΧΘΥΑΛΕΥΡΟΥ – ΙΧΘΥΕΛΑΙΟΥ ΜΕ ΠΡΩΤΕΪΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΛΙΠΙΔΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΖΩΪΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ

5.1 Γενικά

Στις εντατικές υδατοκαλλιέργειες, η σίτιση των εκτρεφόμενων οργανισμών αντιπροσωπεύει πάνω από το 50% των λειτουργικών δαπανών με την πρωτεΐνη να αποτελεί το πιο ακριβό θρεπτικό συστατικό. Η διατροφή και η θρέψη παίζουν ουσιαστικό ρόλο στη συνεχή ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας. Οι θρεπτικές απαιτήσεις των ψαριών σε συνθήκες εκτροφής, καλύπτονται από ιχθυοτροφές οι οποίες αποτελούν σύνθετα μίγματα διαφόρων συστατικών. Τα συστατικά αυτά μπορεί να είναι ζωικής ή φυτικής προέλευσης. Τα διατροφικά χαρακτηριστικά και η διαθεσιμότητα των πρώτων υλών παίζουν σημαντικό ρόλο στην επιτυχή σύνθεση των ιχθυοτροφών, στην ανάπτυξη και υγεία των ψαριών και κατ'επέκταση στην ανάπτυξη του κλάδου των ιχθυοκαλλιεργειών αλλά και την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων στο υδάτινο περιβάλλον (Hasan, 2001).

5.2. Συστατικά ζωικής προέλευσης

Τα ζωικά προϊόντα που έχουν εξεταστεί ως τροφές των ψαριών προέρχονται είτε από σπονδυλωτά είτε από ασπόνδυλα ζώα. Οι πηγές των ζωικών προϊόντων και παραπροϊόντων των σπονδυλωτών είναι αυτές που προέρχονται από τους ιχθύες, όπως το ιχθυάλευρο, η υδρολυμένη πρωτεΐνη ψαριού και τα παρεμπίπτοντα αλιεύματα, και από τα χερσαία ζώα το υδρολυμένο πτεράλευρο, το κρεατάλευρο, το οστεάλευρο, τα

άλευρα παραπροϊόντων πουλερικών και τα προϊόντα αίματος και γάλακτος. Στα προϊόντα των μη σπονδυλωτών περιλαμβάνονται τα σκουλήκια, οι προνύμφες εντόμων, τα καρκινοειδή και το ζωοπλαγκτόν. Οι πρωτεΐνες ζωικής προέλευσης αποτελούν συχνά τα πιο σημαντικά και περισσότερο ακριβά συστατικά της τροφής για τα ψάρια και θα πρέπει αν το κόστος είναι μεγάλο να χρησιμοποιούνται με φειδώ. Γενικά, είναι πλούσιες σε πρωτεΐνη, λιπίδια, ανόργανα στοιχεία και βιταμίνες και χαμηλές σε ινώδεις ουσίες και υδατάνθρακες (Jauncey, 1998).

5.3. Παραπροϊόντα αλιείας

Μέχρι σήμερα δεν έχει δοθεί μεγάλη σημασία στα εμπορικά εν δυνάμει παραπροϊόντα αλιείας (συμπεριλαμβανομένου της συμπυκνωμένης πρωτεΐνης ιχθύων και τα προϊόντα υδρόλυσης, το γαριδάλευρο, το άλευρο ευφασιώδων (κριλ) και το άλευρο καλαμαριού) για τη χρήση τους ως πηγή πρωτεΐνης για τα ψάρια (El-Sayed, 1999).

5.4. Παραπροϊόντα χερσαίων ζώων

Τα παραπροϊόντα χερσαίων ζώων (παραπροϊόντα πουλερικών, αιματάλευρο, υδρολυμένο πτεράλευρο, κρεατάλευρο και οστεάλευρο) έχουν υψηλή σύσταση σε πρωτεΐνη και πολύ καλά προφίλ απαραίτητων αμινοξέων. Ωστόσο, αυτά πρέπει να είναι ελλιπή σε ένα ή περισσότερα αμινοξέα. Τα οριακά απαραίτητα αμινοξέα σε αυτά τα παραπροϊόντα είναι η λυσίνη (παραπροϊόντα πουλερικών, υδρολυμένο πτεράλευρο), η ισολευκίνη (αιματάλευρο) και η μεθειονίνη (κρεατάλευρο και οστεάλευρο, αιματάλευρο και υδρολυμένο πτεράλευρο). Εάν στη διαίτα διατηρηθεί κατάλληλη

αναλογία ανάμεσα στα παραπροϊόντα αυτά, τότε η ανισορροπία στα απαραίτητα αμινοξέα μπορεί να ισορροπιστεί και η ποιότητα τέτοιων διαιτών πιθανώς να βελτιωθεί (El-Sayed, 1999).

5.5. Άλευρο προνυμφών μύγας (*Magmeal*)

Τα άλευρα εντόμων όπως των προνυμφών της μαύρης στρατιωτόμυγας (*Hermetia illucens*) και της οικιακής μύγας (*Musca domestica*), των νυμφών του σκαθαριού (*Tenebrio molitor*), των τριζονιών, των ακριδών και των μεταξοσκωλήκων έχουν υψηλά επίπεδα ακατέργαστων πρωτεϊνών (CP) (παρόμοιου μεγέθους με αυτές του σογιάλευρου και των ιχθυάλευρων) και λιπιδίων. Το προφίλ των αμινοξέων τους είναι καλό και η πεπτικότητα των πρωτεϊνών υψηλή. Σύμφωνα με μελέτες, τα άλευρα εντόμων μπορούν να υποκαταστήσουν το 25-100% του σογιάλευρου και των ιχθυάλευρων στη διατροφή των ζώων, ανάλογα με τα είδη των εντόμων που περιέχονται στα άλευρα και τα είδη των ζώων για τα οποία προορίζονται (Makkar et al. 2014).

5.6. Άλευρα από μεταποιημένες ζωικές πρωτεΐνες

Πρόκειται για άλευρα που παρασκευάζονται από ζωικά υποπροϊόντα, δηλαδή από προϊόντα της επεξεργασίας (σφαγή, μεταποίηση) διαφόρων μονογαστρικών αγροτικών ζώων (χοιρινά, πουλερικά). Τα άλευρα ζωικών υποπροϊόντων χρησιμοποιούνταν παλαιότερα κατά κόρον ως πρώτες ύλες των ιχθυοτροφών. Ωστόσο, η συντριπτική πλειοψηφία αυτών των αλεύρων είχε απαγορευθεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) από το 2001 έως και το 2013 (όχι όμως σε άλλες περιοχές του κόσμου),

κατόπιν των έντονων ανησυχιών που προέκυψαν μετά την εμφάνιση της νόσου της σπογγώδους εγκεφαλοπάθειας στα βοοειδή, που διατρέφονταν με άλευρα αυτού του τύπου. Όπως αποδείχθηκε, η νόσος δεν οφείλονταν στα άλευρα αυτά καθ'αυτά, αλλά στην μη κατάλληλη επεξεργασία κατά την παρασκευή τους. Πλέον, από 1/6/2013 η Ε.Ε. έχει άρει την απαγόρευση της χρησιμοποίησης των προϊόντων αυτών στις ιχθυοτροφές θέτοντας παράλληλα αυστηρότερα κριτήρια για την Παρασκευή και τη χρησιμοποίησή τους. Συγκεκριμένα, τα προϊόντα αυτά ονομάζονται Μεταποιημένες Ζωικές Πρωτεΐνες (ΜΖΠ) που αυστηρά προέρχονται από μονογαστρικά εκτρεφόμενα ζώα (χοιρινά, πουλερικά) και όχι μηρυκαστικά (όπως π.χ. βοοειδή). Οι ΜΖΠ αποτελούν υποπροϊόντα ζώων τα οποία προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο και λαμβάνονται κατά τη στιγμή της σφαγής τους. Για την παρασκευή ΜΖΠ δεν επιτρέπεται η χρησιμοποίηση υλών από άρρωστα ή υποπτευόμενα, ως άρρωστα ζώα, υπολείμματα ζωικών τροφίμων για άνθρωπο, εντόσθια, κοπριές και απορριπτόμενα προϊόντα για ανθρώπινη κατανάλωση (El-Sayed, 1999).

Στο εμπόριο είναι διαθέσιμες διάφορες ΜΖΠ ανάλογα το είδος του ζώου από το οποίο προέρχονται όπως π.χ. άλευρα κρέατος πουλερικών, άλευρο κρέατος χοιρινών, άλευρο κρέατος και οστών πουλερικών, φτεράλευρα, αιματάλευρα κλπ. Η συλλογή των ζωικών υποπροϊόντων και η μεταποίησή τους διέπεται από κανονισμούς και παρακολουθείται από τις αρμόδιες αρχές κάθε Ευρωπαϊκής χώρας (π.χ. τα σφαγεία χοίρων ή πουλερικών πρέπει να τηρούν τις απαιτούμενες προδιαγραφές). Αξίζει να σημειωθεί πως οι ΜΖΠ μέχρι πρότινος χρησιμοποιούνταν ως ένα υψηλής διατροφικής αξίας και πλήρως ιχνηλατίσιμο συστατικό των ζωοτροφών για κατοικίδια ζώα.

Γενικά, η περιεκτικότητα αυτών των αλεύρων σε πρωτεΐνες κυμαίνεται από 50 ως πάνω από 85% και αποτελούν ικανοποιητικές πηγές λυσίνης, αλλά πτωχές πηγές

μεθειονίνης και κυστίνης. Η περιεκτικότητά τους σε λιπίδια είναι 5-10% είναι πλούσιες πηγές φωσφόρου και ασβεστίου, αλλά περιέχουν και υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα (27-31%).

Το αιματάλευρο είναι ένα αποξηραμένο προϊόν που παρασκευάζεται από καθαρό, νωπό ζωικό αίμα, χωρίς καμία ξένη ουσία. Η ελάχιστη περιεκτικότητά σε πρωτεΐνες 85% και περιεκτικότητα σε λυσίνη 9-11%.

Το υδρολυμένο φτεράλευρο παρασκευάζεται από την υδρόλυση της πρωτεΐνης των φτερών των πουλερικών, υπό πίεση με την παρουσία Ca(OH)_2 και ξήρανση. Έχει περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες 80-85% αλλά η πεπτικότητά του από τα ψάρια είναι χαμηλή (50-70%), ενώ και το προφίλ των απαραίτητων αμινοξέων του δεν είναι το πλέον κατάλληλο. Το άλευρο υποπροϊόντων πουλερικών παρασκευάζεται από υπολείμματα επεξεργασίας των πουλερικών, και δεν συμπεριλαμβάνει φτερά ή περιεχόμενα του στομάχου και των εντέρων. Η περιεκτικότητά του σε πρωτεΐνες είναι περίπου 58% πρωτεΐνες και 13% λιπίδια.

Διάφορα υποπροϊόντα γάλακτος είναι χρήσιμα στην κατάρτιση ιχθυοτροφών, όπως είναι, μεταξύ άλλων, ο ορός γάλακτος σε σκόνη, η καζεΐνη και το αποβουτυρωμένο γάλα σε σκόνη. Το ορός γάλακτος σε σκόνη είναι η υπόλειμμα που αποκτάται όταν αφαιρεθεί ένα μέρος της λακτόζης και η περιεκτικότητά σε πρωτεΐνες είναι σχετικά χαμηλή (13-17%). Ωστόσο η καζεΐνη, που είναι το υπόλειμμα αποκτάται μετά την πήξη του αποβουτυρωμένου γάλακτος με οξέα ή πυτία, περιέχει τουλάχιστον 80% πρωτεΐνες.

Η ζελατίνη είναι μια κολλώδης ουσία που αποκτάται με τη μερική υδρόλυση κολλαγόνου από το δέρμα, τους τένοντες και τους συνδέσμους διαφόρων ζώων. Είναι σκληρή και εύθρυπτη όταν ξηραίνεται αλλά διαλύεται σε ζεστό νερό και σχηματίζει ένα

κολλοειδές πήγμα όταν ψύχεται. Έχει 88-92% περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες αλλά δεν περιέχει καθόλου τρυπτοφάνη. Χρησιμοποιείται στις ιχθυοτροφές τόσο ως πηγή πρωτεΐνης όσο και ως συνδετικό μέσο (El-Sayed, 1999).

5.7. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από την θρεπτική αξία των προϊόντων ζωικής προέλευσης.

Πλεονεκτήματα

- Περιέχουν πολύ υψηλά επίπεδα πρωτεϊνών (40-85%)
- Υψηλή πεπτικότητα και γευστικότητα
- Περιέχουν υψηλά επίπεδα απαραίτητων αμινοξέων (ιδιαίτερα πλούσιες πηγές μεθειονίνης, λυσίνης)
- Πλούσια σε βιταμίνη Α και σε φώσφορο Ρ
- Τα ιχθυέλαια και δευτερευόντως τα ιχθυάλευρα είναι πλούσιες πηγές ω-3 ΠΛΟ
- Απουσία άπεπτων υδατανθράκων (ινωδών ουσιών)
- Απουσία αντι-διατροφικών παραγόντων (πολλοί υπάρχουν στις φυτικές τροφές)

Αποδίδουν καλύτερη ανάπτυξη των ψαριών (ειδικά των σαρκοφάγων) (El-Sayed, 1999)

Μειονεκτήματα

- Τα ιχθυάλευρα και ιχθυέλαια – έντονος προβληματισμός για τη βιωσιμότητα των φυσικών ιχθυαποθεμάτων από όπου προέρχονται. Επίσης, μειονέκτημα αποτελεί το υψηλό τους κόστους
- Το λίπος των ΜΖΠ περιέχει αρκετά κορεσμένα λιπαρά και δεν περιέχει ω-3 ΠΛΟ

- Η χρησιμοποίηση ορισμένων ΜΖΠ (π.χ. αιματάλευρα) κατά την πελλετοποίηση είναι δυσχερής (π.χ. κολλειδής υφή)
- Η θρεπτική αξία των ΜΖΠ μπορεί να είναι αρκετά μεταβλητή ανάλογα το είδος και τις πρακτικές εκτροφής/διατροφής τους. (El-Sayed, 1999)

6. ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΙΧΘΥΑΛΕΥΡΩΝ ΚΑΙ ΙΧΘΥΕΛΑΙΩΝ ΣΤΙΣ ΙΧΘΥΟΤΡΟΦΕΣ

6.1. Γενικά

Οι θρεπτικές απαιτήσεις των ιχθύων, όπως και όλων των υδρόβιων ζωικών οργανισμών, είναι παρόμοιες με αυτές των χερσαίων ζώων. Έτσι, τα ψάρια χρειάζονται πρωτεΐνες (αμινοξέα), λιπίδια (πολυακόρεστα λιπαρά οξέα), ανόργανα στοιχεία και βιταμίνες για να διατηρηθούν στη ζωή, να αναπτυχθούν και να επιτελέσουν όλες τις φυσιολογικές τους λειτουργίες. Αυτά τα θρεπτικά στοιχεία παρέχονται στους εκτρεφόμενους οργανισμούς είτε από την πρόληψη της φυσικής τροφής (υδρόβια χλωρίδα και πανίδα) είτε από την κατανάλωση προπαρασκευασμένων τροφών. Σε εκείνα τα εκτροφικά συστήματα που τα ψάρια διατηρούνται σε τεχνητά υδατοκαλλιεργητικά μέσα και υπάρχει έλλειψη της φυσικής τροφής (όπως π.χ. τσιμεντένιες δεξαμενές τύπου raceways), η διαίτα που τους χορηγείται θα πρέπει να είναι επαρκής σε όλα τα θρεπτικά συστατικά, τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά. Ωστόσο, στις περιπτώσεις όπου τα εκτρεφόμενα ψάρια έχουν πρόσβαση σε φυσική τροφή, οι προσφερόμενες δίαιτες είναι δυνατό να είναι ελλιπείς σε κάποιες απαραίτητες θρεπτικές ουσίες (Lovell, 1989).

6.2. Λιπαρά οξέα στη διατροφή ψαριών και αντικατάσταση λίπους στις ιχθυοτροφές

Η παραγωγή του ιχθυελαίου από τη συλλεκτική αλιεία ανήλθε σε 0.99 εκατομμύρια τόνους το 2006 (Turchini et al. 2009). Επίσης, πρόσφατα αρχίζει να

αυξάνει η ζήτηση του ιχθυελαίου και από τις βιομηχανίες παραγωγής άλλων τροφίμων, προκειμένου να βελτιώσουν την ποιότητα των προϊόντων που καταναλώνονται από τον άνθρωπο ή τα ζώα.

Τα τελευταία τριάντα χρόνια η ετήσια παραγωγή ιχθυελαίου δεν έχει ξεπεράσει τους 1,5 εκατομμύρια τόνους ανά έτος (Turchini et al. 2009) και η γρήγορα αυξανόμενη βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας δεν μπορεί να συνεχίζει να βασίζεται στα αποθέματα θαλάσσιων πελαγικών ψαριών με τη προμήθει ιχθυελαίου. Μάλιστα, ο Διεθνής Οργανισμός Ιχθυάλευρων και Ιχθυελαίων (FAO) προβλέπει περαιτέρω μείωση της παραγωγής του ιχθυελαίου, επιδεινώνοντας τη δραματική κατάσταση των διαθέσιμων αποθεμάτων ιχθυελαίου (Tacon and Metian, 2008).

Στην αγορά της βορειοδυτικής Ευρώπης η τιμή του ιχθυελαίου αυξήθηκε από 314 δολάρια ανά τόνο το 199 σε 812 δολάρια ανά τόνο (Turchini et al. 2009). Σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία που δίνονται από το FAO (2014) η παραγωγή ιχθυελαίου μειώθηκε το 2010, λόγω φαινομένου El Niño αλλά του σεισμού στη Χιλή, που προκάλεσε καταστροφές στη βιομηχανία της. Σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία του FAO (Globefish 2013), η τιμή του ιχθυελαίου στο τελευταίο τρίμηνο του 2012 ανήλθε στα 2183 δολάρια ανά τόνο, η οποία είναι 43% αυξημένη σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή του ιχθυελαίου κατά το τελευταίο τρίμηνο του 2011.

Παρά το υψηλό κόστος του ιχθυελαίου, οι παραγωγοί ιχθυοτροφών συνεχίζουν να χρησιμοποιούν αυτό το προϊόν για την Παρασκευή των ιχθυοτροφών, θεωρώντας ότι είναι η καλύτερη πηγή λίπους για την εκτροφή των ψαριών, ιδιαίτερα των θαλάσσιων σαρκοφάγων ειδών. Ο IFFO [international fishmeal and fish oil organization] (Chamberlain, 2011) προτείνει τη χρήση του ιχθυελαίου μόνο για τις ιχθυοτροφές στην αρχή (γόνος) και στο τέλος της εκτροφής των ψαριών, καθώς και τον γεννητόρων. Το

κύριο χαρακτηριστικό του ιχθυελαίου είναι το υψηλό επίπεδο των n-3 ακόρεστων λιπαρών οξέων μακράς αλυσίδας (High unsaturated fatty acids, HUFA), που είναι γνωστό ότι είναι απαραίτητα για την καλή ανάπτυξη και υγεία των εκτρεφόμενων ψαριών. Όμως αυτή η κατάσταση δεν αναμένεται να συνεχισθεί εξαιτίας πολλών παραγόντων. Πέρα από τους οικονομικούς λόγους της αύξησης των τιμών του ιχθυελαίου και των περιορισμένων αποθεμάτων, η βιομηχανία της υδατοκαλλιέργειας υφίσταται έντονη κριτική από τους επιστήμονες και τις περιβαλλοντικές ομάδες σχετικά με τη μακροπρόθεσμη αειφορία των αλιευτικών αποθεμάτων (Naylor et al. 2000, Worm et al. 2006). Η ηθική της χρήσης αλιευτικών πηγών, και κυρίως πελαγικών ψαριών, για ζωικές τροφές αντί για άμεση ανθρώπινη κατανάλωση, είναι επίσης ένα θέμα παγκόσμιας συζήτησης και σχετικές πολιτικές αρχίζουν οι αναπτύσσονται (FAO 2014).

Για τους λόγους αυτούς, υπάρχει άμεσα μεγάλη ανάγκη στη βιομηχανία της υδατοκαλλιέργειας να βρει και να εφαρμόσει εναλλακτικές πηγές λίπους. Η πρόκληση για την παραγωγή ψαριών είναι να διατηρήσει ή να βελτιώσει τα αναγνωρισμένα πλεονεκτήματα των ψαριών για την υγεία του ανθρώπου, ενώ συγχρόνως να μεγιστοποιήσει την αειφορία, την υγεία των ψαριών και τα οικονομικά οφέλη. Ερευνητικές δραστηριότητες διεξάγονται πρόσφατα για την αξιολόγηση εναλλακτικών πηγών λίπους (Turchini et al. 2009).

Αντίθετα με την παραγωγή ιχθυελαίου, η οποία έχει μείνει στατική τις τρεις τελευταίες δεκαετίες, η παραγωγή φυτικών ελαίων έχει αυξηθεί σημαντικά. Η παγκόσμια παραγωγή φυτικών ελαίων εκτιμήθηκε σε πάνω από 115 εκατομμύρια τόνους το 2005 και η παραγωγή τους συνεχίζει να αυξάνει ετησίως. Η μέση ετήσια τιμή του ιχθυελαίου για το 2013 ανέρχεται στα 2,257.86 δολάρια, ενώ του ελαίου

ελαιοκράμβης στα 1,134.71 (FAO 2013). Προβλέπεται ότι αυτή η διαφορά των τιμών μπορεί να αυξηθεί, με το ιχθυέλαιο να δέχεται υψηλή ζήτηση από την βιομηχανία των ιχθυοτροφών και συγχρόνων η παγκόσμια παραγωγή του να μειώνεται. Ωκεάνια φαινόμενα, όπως η επανεμφάνιση El Niño (το 1998 και το 2003), μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά την αλιεία πελαγικών ψαριών προκαλώντας αύξηση στην τιμή του ιχθυελαίου (Turchini et al. 2009). Αυτό κάνει τα φυτικά έλαια ελκυστικά από την οικονομική πλευρά στους παραγωγούς ιχθυοτροφών που θέλουν φθηνότερες και πραγματοποιήσιμες εναλλακτικές λύσεις για ιχθυέλαιο. Οι τιμές των φυτικών ελαίων αυξάνουν τα τελευταία χρόνια λόγω αυξημένων αναγκών για ανθρώπινη κατανάλωση αλλά και της αναπτυσσόμενης βιομηχανίας βιο-αερίου. Όμως γενικά η αύξηση στις τιμές του ιχθυελαίου είναι μεγαλύτερη από αυτή στις τιμές των φυτικών ελαίων.

Η πρόσφατη έρευνα έχει δείξει ότι τα φυτικά έλαια εύκολα καταβολίζονται από τα ψάρια σαν πηγές ενέργειας για την ανάπτυξη (Bell et al. 2001, Stubhaug et al. 2007). Επομένως, μεγάλη ποσότητα ιχθυελαίου που χρησιμοποιείται στις ιχθυοτροφές μπορεί να αντικατασταθεί με φυτικά έλαια, που είναι πιο διαθέσιμα και μικρότερου σχετικά κόστους. Όμως, τα χημικά χαρακτηριστικά των φυτικών ελαίων, και ιδιαίτερα η σύστασή τους σε λιπαρά οξέα, θέτουν περιορισμούς σε αυτές τις εναλλακτικές λύσεις λίπους.

Τα λίπη είναι αναγκαία για τα ψάρια ως πηγή διαθέσιμης ενέργειας, ως δομικά συστατικά των βιομεμβρανών, ως μεταφορείς λιποδιαλυτών βιταμινών, ως πρόδρομες ενώσεις των εικασανοειδών, ορμονών και βιταμίνης D και ως συνένζυμα (Higgs and Dong 2000). Στα ψάρια, τα λίπη της τροφής αποτελούν σημαντική πηγή των απαραίτητων λιπαρών οξέων για κανονική ανάπτυξη, αναπαραγωγή και διάφορες σωματικές λειτουργίες. Οι διατροφικές απαιτήσεις των ψαριών αφορούν κυρίως τα ω-3

και ω-6 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA). Οι βιολογικά ενεργές μορφές των απαραίτητων λιπαρών οξέων είναι γενικά οι C20 και C22 μεταβολίτες του λινολεϊκού οξέως (LA: 18: 2ω-6) και α-λινολενικού οξέος (ALA:18:3ω-3). Το ιχθυέλαιο παραδοσιακά χρησιμοποιείται ως η μόνη πηγή λίπους στις εμπορικές τροφές των ψαριών, κυρίως λόγω της αφθονίας των απαραίτητων λιπαρών οξέων σε αυτό το προϊόν.

Τα περισσότερα φυτικά έλαια είναι σχετικά φτωχές πηγές των ω-3 λιπαρών οξέων σε σύγκριση με το θαλάσσιο ιχθυέλαιο. Τα απαραίτητα ω-3 HUFA για την ανάπτυξη και την υγεία των ψαριών απουσιάζουν από όλα τα φυτικά έλαια. Τα φυτικά έλαια είναι πλούσια σε ω-6 και ω-9 οξέα, κυρίως LA και ολεϊκό (OA, 18:1ω-9), με εξαίρεση το λινέλαιο (LO, linseed oil), το οποίο είναι πλούσιο σε ALA. Ανάλογα με το είδος, τα ψάρια έχουν διάφορες ικανότητες της βιομετατροπής του 18:3ω-3 σε ω-3 HUFA (Sargent et al. 2002), αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις ιδιαίτερα στα θαλάσσια σαρκοφάγα είδη, η ποσότητα των ω-3 HUFA που παράγεται *in vivo* είναι ανεπαρκής για να ικανοποιήσει τη καλή ανάπτυξη και υγεία των ψαριών. Οι πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει ότι σημαντική ποσότητα του ιχθυελαίου μπορεί να αντικατασταθεί με φυτικά έλαια στις τροφές αρκετών ειδών ψαριών χωρίς αν επηρεάσει την ανάπτυξη και την αξιοποίηση της τροφής, με την προϋπόθεση ότι επαρκείς ποσότητες των ειδικών απαραίτητων λιπαρών οξέων (EFA) παρέχονται στο σιτηρέσιο. Τα επίπεδα αυτά διαφοροποιούνται από πολλούς παράγοντες, όπως το είδος, το στάδιο ανάπτυξης κλπ. Όταν το ιχθυέλαιο αντικαθίσταται τελείως με έλαια που δεν έχουν EFA, συγχρόνως και με σημαντική αντικατάσταση του ιχθυάλευρου, υπάρχει κίνδυνος η τροφή να είναι ανεπαρκής. Για τον λόγο αυτό το ποσοστό αντικατάστασης εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα των συστατικών της τροφής και πρέπει να

υπολογίζεται έτσι ώστε να επιτρέπει την παρουσία των EFA σε επαρκή επίπεδα για την ανάπτυξη του κάθε είδους.

Άλλες νέες εναλλακτικές πηγές λίπους είναι έλαια από καλλιέργειες μονοκύτταρων μικροφυκών και κωπηπόδων. Όμως η διαθεσιμότητα αυτών των ελαίων είναι πολύ περιορισμένη και το κόστος παραγωγής πολύ υψηλό. Η εφαρμογή της βιοτεχνολογίας για γενετικά τροποποιημένα φυτά για την παραγωγή ελαίων πλούσιων σε n-3 HUFA δείχνει καλά αποτελέσματα. Όμως, γενετικά τροποποιημένοι οργανισμοί θεωρούνται ότι είναι απειλή για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία (Myhr and Dalmo 2005). Τα λίπη από τα υποπροϊόντα χερσαίων ζώων αποτελούν για φθηνή διαθέσιμη πηγή για τη βιομηχανία των ιχθυοτροφών. Όμως η χρήση τους στις ιχθυοτροφές έχει απαγορευθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Τα υποπροϊόντα των ψαριών στις μονάδες μεταποίησης, θεωρούνταν ως χαμηλής αξίας και επομένως αποβάλλονταν. Όμως, λόγω των οικονομικών και περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων της χρησιμοποίησης τέτοιων υποπροϊόντων, μερικές χώρες χρησιμοποιούν τα υποπροϊόντα αλιείας και υδατοκαλλιέργειας για την παραγωγή θαλάσσιων προϊόντων, όπως ιχθυάλευρα. Τα υποπροϊόντα των ψαριών, κυρίως τα εντόσθια, επίσης έχουν μεγάλη δυνατότητα για χρήση στη παραγωγή ιχθυελαίου για την εκτροφή των ψαριών (Mondal et al. 2006; Faul et al. 2007).

Πρόσφατα, έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον για τη δυνατότητα χρήσης αλεύρων και ελαίων από υποπροϊόντα υδρόβιων οργανισμών για την παραγωγή πιστοποιημένων βιολογικών (οργανικών) εκτρεφόμενων ψαριών. Σύμφωνα με τον Κανονισμό (Ε.Κ.) αριθμ. 710/2009, που αφορά στη θέσπιση λεπτομερών κανόνων για τη βιολογική παραγωγή ζώων υδατοκαλλιέργειας, δίνεται προτεραιότητα στη χρήσης βιολογικών προϊόντων υδατοκαλλιέργειας, ιχθυάλευρων και ιχθυελαίων από υπολείμματα

βιολογικής υδατοκαλλιέργειας για την παρασκευή των ιχθυοτροφών καθώς και από υπολείμματα ψαριών που έχουν ήδη αλιευθεί για ανθρώπινη κατανάλωση στο πλαίσιο βιώσιμης αλιείας. Στην περίπτωση που αυτές οι πρώτες ύλες δεν είναι διαθέσιμες μπορούν να χρησιμοποιούνται ιχθυάλευρα και ιχθυέλαια από υπολείμματα μη βιολογικής υδατοκαλλιέργειας (μέχρι 30% του ημερήσιου σιτηρεσίου). Η χρήση και η ανακύκλωση αυτών των υδάτινων υποπροϊόντων για την αντικατάσταση του ιχθυελαίου στις εμπορικές ιχθυοτροφές μπορεί να μειώσει σημαντικά το κόστος των τροφών, να μειώσει τα απόβλητα στο περιβάλλον και να βελτιώσει την παραγωγικότητα και την αειφορία της υδατοκαλλιέργειας. Όμως, κατάλληλη συντήρηση, επεξεργασία και έλεγχος της ποιότητας του ελαίου από τα υποπροϊόντα εκτρεφόμενων ψαριών απαιτούνται για τη προώθηση μίας πιο φιλικής για το περιβάλλον και αειφόρου υδατοκαλλιέργειας. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει απαγορεύσει τη διατροφή ενός είδους με το ίδιο είδος, για την αποφυγή κινδύνων μετάδοσης ασθενειών. Όμως, τα ιχθυέλαια από τα υποπροϊόντα της μεγάλης βιομηχανίας παραγωγής σολομού μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τη διατροφή άλλων ειδών, όπως της τσιπούρας και του λαβρακιού. Τέτοια ιχθυέλαια υπάρχουν πρόσφατα στο εμπόριο και με συμφέρουσες τιμές.

Η παραγωγή από την εκτροφή σολομού παγκοσμίως ανέρχεται σε ένα εκατομμύριο τόνους περίπου, και μετά από την επεξεργασία προκύπτουν περίπου 250.000 τόνοι υποπροϊόντων (εντόσθια, δέρμα, οστά). Από αυτά προκύπτουν ιχθυέλαια που υφίστανται κατάλληλη επεξεργασία (salmon oil microfiltration), ώστε να μειωθούν οι οργανικοί ρυπαντές και να εξασφαλισθεί η υγιεινή ποιότητα των προϊόντων. Στα έλαια αυτά παραμένουν οι χρωστικές (carotenoid pigments, astaxanthin), που είναι φυτικά αντιοξειδωτικά (Wright 2004) και ευεργετικά για την υγεία του ανθρώπου

(Seierstad et al. 2005). Επίσης, τα έλαια αυτά έχουν ικανοποιητικά επίπεδα ω-3 HUFA. Παρά ταύτα η χρήση τους στις ιχθυοτροφές χρειάζεται έρευνα, καθώς η εφαρμογή της χρήσης αυτών των ελαίων είναι πολύ πρόσφατη. Τα δημοσιευμένα δεδομένα σχετικά με τις επιδράσεις τους στην ανάπτυξη και φυσιολογία των ψαριών είναι περιορισμένα. Ιδιαίτερα σημασία έχει η μελέτη της σύστασης σε λιπαρά οξέα αυτών των ελαίων που προέρχονται από τον σολομό και οι αλλαγές που προκαλούνται στη σύσταση των ιστών σε λιπαρά οξέα των ψαριών, στα οποία έχουν προσφερθεί μέσω της τροφής.

Σε αρκετές μελέτες αναφέρονται υψηλά επίπεδα περιβαλλοντικών ρυπαντών σε ιχθυοτροφές και στον εκτρεφόμενο σολομό Ατλαντικού. Αυτοί περιλαμβάνουν οργανικούς ρυπαντές (POP) που μπορεί να αποβούν επιβλαβείς για τον καταναλωτή: διοξίνες (PCBs, PCDDs, PCDFs), PBDEs και οργανοχλωριωμένα ζιζανιοκτόνα. Τα μέταλλα δεν συσσωρεύονται συνήθως στα έλαια. Οι οργανικοί ρυπαντές είναι λιποδιαλυτοί και εύκολα βιομεγεθύνονται στη τροφική αλυσίδα. Είναι γνωστό ότι οι POP ρυπαντές προκαλούν καρκίνο και καταστολή του ανοσοποιητικού συστήματος του ανθρώπου, αλλά είναι επίσης επιβλαβείς και για τα ψάρια. Τα ιχθυέλαια από τα θαλάσσια πελαγικά ψάρια στις ιχθυοτροφές είναι η κύρια πηγή των POP στον εκτρεφόμενο σολομό. Αντικατάσταση των ιχθυελαίου με φυτικά έλαια έχει δείξει ότι είναι αποτελεσματική στη μείωση των επιπέδων των διοξινών και οργανοχλωριωμένων εντομοκτόνων στις ιχθυοτροφές και στον εκτρεφόμενο σολομό (Berntssen et al. 2007). Όμως υπάρχουν πιθανότητες χημικής μόλυνσης και από τη χρήση φυτικών ελαίων, λόγω των οργανοχλωριωμένων εντομοκτόνων, αν και έχουν απαγορευθεί σε αρκετές χώρες της Ευρώπης και της Αμερικής. Η καθιέρωση αποδεκτών ορίων για αυτούς τους οργανικούς ρυπαντές από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Directive 2003/57/EC) το 2003 για

διάφορα συστατικά τροφών, περιλαμβάνοντας και το ιχθυέλαιο, σημαίνει πρόσθετο κόστος για τη μείωση των συγκεντρώσεων αυτών των ρυπαντών (Tacon et al. 2006).

Από τα ανωτέρω γίνεται σαφής η επιτακτική ανάγκη εύρεσης πηγών για την αντικατάσταση του ιχθυελαίου. Επίσης, από την παράθεση των πιθανών πηγών προκύπτει ότι τα φυτικά έλαια και τα υποπροϊόντα υδρόβιων οργανισμών αποτελούν τις μόνες ρεαλιστικές και οικονομικές λύσεις για την αντικατάσταση του ιχθυελαίου στις ιχθυοτροφές.

Είναι γνωστό ότι τα ψάρια με υψηλή συγκέντρωση σε EPA (20:5 ω -3) και DHA (22:6 ω -3) σε συνδυασμό με ένα χαμηλό λόγο ω -6/ ω -3 αποτελούν ένα σημαντικό μέρος της υγιεινής διατροφής του ανθρώπου. Η κατανάλωση αυτών των ψαριών συνιστάται λόγω των ευεργετικών ιδιοτήτων που προσφέρουν στον άνθρωπο, και ιδιαίτερα όσον αφορά στην πρόληψη καρδιαγγειακών νοσημάτων και την κατάθλιψη (Sinclair et al. 2007). Όμως, στα ψάρια που έχουν εκτραφεί με φυτικά έλαια με αυξημένη περιεκτικότητα σε λινολεϊκό οξύ (LA, 18:2 ω -6), οι ιστοί έχουν αυξημένη αναλογία ω -6/ ω -3 και η θρεπτική τους αξία για τη διατροφή του ανθρώπου μειώνεται. Ο λόγος ω -6/ ω -3 στη σημερινή διατροφή του ανθρώπου είναι 10-20:1 και συνιστάται να είναι 4-5:1 (Simopoulos 2002). Τα φυτικά έλαια που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα στη διατροφή των ψαριών έχουν αυξημένη αναλογία LA/ALA, εκτός από το λινέλαιο, που έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε α-λινολενικό οξύ (ALA, 18:3N-3).

Μεγάλης σημασίας κατά την αντικατάσταση του ιχθυελαίου είναι οι λόγοι n-3/n-6 και EPA/DHA/AA (Sargent et al. 1999). Τα λιπαρά οξέα EPA και AA (Arachidonic, 20:4 ω -6) είναι πρόδρομες ενώσεις των εικοσανοειδών που εμπλέκονται σε πολλές φυσιολογικές δραστηριότητες, ανοσιολογικές ανταποκρίσεις, αιματολογική και καρδιαγγειακή δραστηριότητα, αναπαραγωγή, νεφρική και νευρική λειτουργία των

ψαριών (Tocher 2003). Ένα σημαντικό πρόβλημα για την υγεία των ψαριών, που προκύπτει από την αντικατάσταση του ιχθυελαίου με φυτικά έλαια πλούσια ω-6 λιπαρά οξέα, είναι η καταστολή του ανοσοποιητικού συστήματος. Αλλαγή του λόγου ω-3/ω-6 στο σιτηρέσιο των ψαριών προκαλεί μεταβολές στο λόγο EPA/AA και στα ψάρια σε κυτταρικό επίπεδο. Τα εικοσανοειδή που προέρχονται από το AA έχουν μεγαλύτερη ενεργότητα από τα αντίστοιχα του EPA, και η αύξησή τους είναι υπεύθυνη για μεταβολές σε αρκετές φυσιολογικές ανταποκρίσεις των ψαριών, συμπεριλαμβανομένης και της καταστολής του ανοσοποιητικού συστήματος (Tocher 2003). Η αναλογία των ω-3 προς ω-6 λιπαρών οξέων στη τροφή φαίνεται ότι παίζει τον σημαντικότερο ρόλο σε αυτές τις διαδικασίες. Σε άτομα τσιπούρας που στο σιτηρέσιο το ιχθυέλαιο έχει μερικώς αντικατασταθεί 60-80% με λινέλαιο, δεν έχουν παρατηρηθεί τέτοια φαινόμενα, παρά μόνο στην ακραία περίπτωση ολικής αντικατάσταση του ιχθυελαίου με λινέλαιο (Montero et al. 2008).

Κάποια από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα φυτικά έλαια για την αντικατάσταση του ιχθυελαίου περιέχουν υψηλά επίπεδα ολεϊκού οξέος (OA, 18:1ω-9), το οποίο έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει το λίπος του ήπατος και τον μεταβολισμό των λιποπρωτεϊνών στα ψάρια (Vegusdal et al 2005). Επίσης, υψηλά επίπεδα του λινολεϊκού οξέος (LA) στο σιτηρέσιο των ψαριών συνδυάζονται με λιπώδη διήθηση του ήπατος. Αντίθετα, δεν παρατηρούνται συνήθως τέτοια φαινόμενα όταν το ιχθυέλαιο έχει αντικατασταθεί με λινέλαιο (Turchini et al. 2009)

Άλλο πρόβλημα που προκύπτει από τα φυτικά έλαια πλούσια σε LA αφορά στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων, καθώς υπάρχει διαφορά στο άρωμα που έχουν οι πτητικές αλδεϋδες που προκύπτουν από τις οξειδώσεις των λιπαρών οξέων. Συγκεκριμένα, οι πτητικές αλδεϋδες από την οξείδωση των ω-3 λιπαρών οξέων

είναι γενικά ευχάριστες (άρωμα πράσινου μήλου,μανιταριών, κλπ.), ενώ των ω-6 δυσάρεστο (άρωμα λίπους). Σε αντίθεση με τα περισσότερα φυτικά έλαια, το λινέλαιο στα σιτηρέσια δεν φαίνεται να διαφοροποιεί τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των ψαριών, στις εργασίες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα (Regost et al. 2003, Turchini et al. 2009).

Σε ορισμένες εργασίες αναφέρονται ότι τα φυτικά έλαια μπορεί να λειτουργήσουν και ως παράγοντες stress. Από τις λίγες εργασίες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα φαίνεται ότι η αυξημένη αναλογία των n-3 προς τα n-6 PUFA, και ιδιαίτερα η αυξημένη περιεκτικότητα σε ALA (α-λινολενικό οξύ), παίζει τον καθοριστικό ρόλο για την αύξηση των στρεσικών αντιδράσεων των ψαριών. Αυξημένα επίπεδα κορτιζόλης παρατηρήθηκαν σε άτομα τσιπούρας εκτρεφόμενα με τροφές που περιείχαν υψηλά ποσοστά ALA μετά από χειρισμούς αύξησης της ιχθυοπυκνότητας (overcrowding) (Caballero et al. 2002).

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι τα φυτικά έλαια πλούσια σε ω-6 μπορεί να προκαλέσουν καταστολή του ανοσοποιητικού συστήματος, αύξηση του λίπους και λιπώδη διήθηση στο ήπαρ, καθώς και υποβάθμιση της ποιότητας του τελικού προϊόντος. Τα φυτικά έλαια πλούσια σε ω-3 μπορεί να προκαλέσουν αύξηση των στρεσικών αντιδράσεων των ψαριών, αν και το θέμα χρήζει περισσότερης διερεύνησης.

Η αντικατάσταση ιχθυελαίου με φυτικά έλαια μεταβάλλει τη σύσταση των ιστών σε λιπαρά οξέα και επομένως και το εδωδιμο μέρος των ψαριών. Για τον λόγο αυτό συνήθως μετά από τη σίτιση των ψαριών με τροφές που περιέχουν φυτικά έλαια ακολουθεί σίτιση με τροφές χωρίς αντικατάσταση του ιχθυελαίου προς το τέλος της εκτροφής. Με τον τρόπο αυτό επιχειρείται η επαναφορά σε μία σύσταση λιπαρών οξέων στους ιστούς που να προσομοιάζει αυτής των ψαριών που ως πηγή λίπους έχουν

μόνο ιχθυέλαιο. Αυτό όμως δεν επιτυγχάνεται πλήρως, καθώς λιπαρά οξέα που είναι αφθονία στα φυτικά έλαια παραμένουν στους ιστούς με αυξημένες αναλογίες για αρκετό διάστημα, σχεδόν και μετά τον διπλασιασμό του σωματικού βάρους. Τα ω-3 HUFA αυξάνονται σημαντικά, όμως τα λιπαρά οξέα OA, LA και ALA παραμένουν αυξημένα. Τα προβλήματα που δημιουργούνται αφορούν κυρίως το LA και την αυξημένη αναλογία ω-6/ω-3.

Το έλαιο που θα προέρχεται από τα υποπροϊόντα του σολομού υδατοκαλλιέργειας αναμένεται να είναι πλούσιο σε μονοακόρεστα και ιδιαίτερα αυτά της μακράς αλύσου C20, C21 (long-chain monounsaturated fatty acids), καθώς και σε ω-3 HUFA (Wu and Bechtel 2008). Το λαβράκι, καθώς και άλλα Μεσογειακά είδη ψαριών, έχει χαμηλά ποσοστά των C20, C21 μονοακόρεστων λιπαρών οξέων, καθώς και η φυσική του διατροφή είναι φτωχή σε αυτά τα λιπαρά οξέα. Ο άνθρωπος και τα χερσαία ζώα, έχουν μειωμένη δυνατότητα εκμετάλλευσης των μονοακόρεστων λιπαρών οξέων C20, C21, όταν δεν προσαρμοστεί στην κατανάλωσή τους (Bremer and Norum 1982, Sargent et al 1999, 2002).

6.3 Λιπαρά οξέα και ποιότητα σάρκας των ψαριών

Οι υδρόβιοι οργανισμοί και τα ψάρια ειδικότερα αποτελούν άριστες πηγές ω-3 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων. Η κατανάλωσή τους από τους ανθρώπους έχει αποδειχθεί ότι συμβάλλει στη βελτίωση νευρολογικών διαταραχών όπως η κατάθλιψη, σχιζοφρένεια και η απόσπαση προσοχής (Small 2002) στην πρόληψη των καρδιαγγειακών παθήσεων και επιδιώκεται να αυξηθεί η συμμετοχή τους στη διατροφή (Simopoulou 2002, Kris-Etherton et al. 2003).

Το λίπος ως συστατικό της σάρκας, επηρεάζεται ποιοτικά και ποσοτικά από τη διατροφή (Izquierdo et al. 2003), σε αντίθεση με την πρωτεΐνη, η οποία εξαρτάται κυρίως από ενδογενείς παράγοντες όπως το είδος και το μέγεθος του ψαριού (Borresen 1992, Shearer 1994). Η ενσωμάτωση ελαίων φυτικής προέλευσης στα σιτηρέσια των εκτρεφόμενων ψαριών μεταβάλλει την αναλογία των λιπαρών οξέων στο λίπος της σάρκας τους (Periago et al. 2005) και είναι πιθανό να επηρεάσει σημαντικά την ποιότητα καθώς και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά της (Izquierdo et al. 2005).

Η ποιότητα των ψαριών έχει οριστεί ως ένας συνδυασμός χαρακτηριστικών όπως η υγιεινότητα, η ακεραιότητα και η φρεσκότητα (Martin 1988). Στο πλαίσιο του προηγούμενου ορισμού η υγιεινότητα αποτελεί την ποιότητα ενός τροφίμου κατάλληλου για κατανάλωση, καθαρού και μη μολυσμένου, το οποίο έχει αποθηκευθεί σε υγιεινό περιβάλλον. Η ακεραιότητα ορίζεται ως η συμφωνία των προδιαγραφών του προϊόντος με εκείνες που έχει προκαθορίσει ο παραγωγός. Τέλος, η φρεσκότητα ορίζεται ως η ποιότητα της εμφάνισης, της γεύσης και της υφής (Grigorakis, 2007). Οι οργανοληπτικές ιδιότητες και η διατροφική αξία είναι δύο χαρακτηριστικά που μαζί με τη φρεσκότητα, αποτελούν τη ποιότητα που αντιλαμβάνεται ο καταναλωτής (Grigorakis 2007).

Τέτοια χαρακτηριστικά μπορούν να αξιολογηθούν μέσω του προσδιορισμού της χημικής σύστασης της σάρκας των ψαριών (πρωτεΐνη, λίπος, λιπαρά οξέα).

6.4 Επιδράσεις από την αντικατάσταση του ιχθυελαίου στις αναπτυξιακές επιδόσεις

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων πέντε ετών ένας μεγάλος αριθμός μελετών έχουν διερευνήσει μια σειρά από υποκατάστατα FO σε ένα ευρύ φάσμα ειδών. Ωστόσο, όλες αυτές οι προηγούμενες μελέτες που τροφοδοτούν τις πειραματικές δίαιτες για ένα μόνο μικρό μέρος του κύκλου ανάπτυξης για κάθε είδος, συνήθως μόνο για 8-20 εβδομάδες. Σε αντίθεση, οι μελέτες που έχουν αναληφθεί στο πλαίσιο του σχεδίου της EE, RAFOA, ήταν μοναδικές στο ότι ήταν μακροχρόνιων προσπαθειών από τα νεανικά στάδια ή κάλυψαν ολόκληρο τον κύκλο από την πρώτη σίτιση της συγκομιδής (www.rafoa.stir.ac.uk).

Σε νεαρούς σολομούς, η αντικατάσταση του FO με αυξανόμενες ποσότητες (25-100%) από λινέλαιο (LO), κραμβέλαιο (RO) και το ελαιόλαδο (OO) δεν είχε επίδραση στην ανάπτυξη ή την επιβίωση (Torstensen et al. 2004, Bell et al. 2004a) και επιβεβαιώνει αναφορές παρόμοιων μελετών χρησιμοποιώντας είτε χαμηλή διαίτα (Hardy et al. 1987, Bell et al. 1991, Waagbø et al. 1991, 1993) ή δίαιτες υψηλές σε ενέργεια σε σολομό Ατλαντικού (Bell et al. 2001a, 2002, Rosenlund et al. 2001, Torstensen et al. 2000, 2004β). Αυτές οι μελέτες δείχνουν παρόμοιες απαντήσεις ανάπτυξης σε άλλες μελέτες που έχουν χρησιμοποιηθεί RO (Bell et al. 2001a, 2003a, b, Rosenlund et al. 2001) ή LO (Bell et al. 1997, 2003, Tocher et al. 2000) ως πλήρη ή μερική, αντικατάσταση των FO και δείχνουν ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις του σολομού μπορούν να ικανοποιηθούν από VO με συνθέσεις μεταβλητών λιπαρών οξέων. Επιπλέον, η έλλειψη οποιασδήποτε αρνητικής απάντησης στην ανάπτυξη υποδηλώνει ότι η συμβολή των EPA και DHA σε δίαιτες με ιχθυάλευρα είναι επαρκείς

για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις EFA σολομού μέχρι και 100% με αντικατάσταση των FO με VO.

Σε μία πλήρη δοκιμή του κύκλου παραγωγής του σολομού, μια σύνθεση από διαιτητικό λιπαρό οξύ διαμορφώθηκε με την ανάμιξη RO, LO και φοινικέλαιο (PO) για να παρέχει παρόμοια επίπεδα διαφόρων κατηγοριών λιπαρών οξέων (κορεσμένα, μονοακόρεστα και πολυακόρεστα ω-3 λιπαρά οξέα) στο καπελανέλαιο. Υπήρχε η ελπίδα ότι αυτή η ισορροπία θα μπορούσε να είναι καλύτερη, φυσιολογικά, για την υγεία και την καλή διαβίωση των ψαριών. Έτσι, σε υψηλά επίπεδα αντικατάστασης FO (75 ή 100%) μία ισορροπημένη σύνθεση λιπαρού οξέος θα πρέπει να είναι λιγότερο αγχωτική, φυσιολογικά, σε σύγκριση με τις ακραίες συνθέσεις λιπαρών οξέων που λαμβάνεται με την αντικατάσταση FO με ένα μόνο VO. Έτσι, όταν ο σολομός τρέφονταν είτε 75 ή 100% του μίγματος VO για ολόκληρο τον κύκλο παραγωγής, σε δύο διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές, η ανάπτυξη ήταν υψηλή σε όλες τις θεραπείες. Ωστόσο, για την ομάδα VO 100% στη Νορβηγία, σημαντικά υψηλότερο τελικό μέσο βάρος ευρέθη σε σύγκριση με την ομάδα FO (Torstensen et al. 2005). Το υψηλότερο μέσο βάρος μετά από 22 μήνες μετά τη πρώτη τροφοδοσία (PFF) συσχετίστηκαν με υψηλότερη πρωτεΐνη μικρότερο της ομάδας VO 100% σε σύγκριση με την ομάδα FO υποδεικνύοντας ότι, κατά τη διάρκεια του προχωρημένου φθινοπώρου και την περίοδο του χειμώνα, η φάση ανάπτυξης στο θαλασσινό νερό, η σύνθεση της δίαιτας σε λιπαρό οξύ VO 100% ευνόησε την ανάπτυξη της πρωτεΐνης και ελαχιστοποίησε την διατροφική πρωτεΐνη από την παραγωγή ενέργειας (Torstensen et al. 2005). Προηγουμένως, η διατροφή με περιεκτικότητα σε λιπίδια, αλλά όχι διατροφική πηγή ελαίου (Torstensen et al. 2000, Bendiksen et al. 2003), έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει η

χρησιμοποίηση πρωτεϊνών, τον ρυθμό ανάπτυξης, το επίπεδο των λιπιδίων των μυών και τη μετατροπή της τροφής (Watanabe 1977, Arzel et al. 1993, 1994).

Στην ιριδίζουσα πέστροφα τροφοδοτείται το ίδιο ενιαίο VO όπως περιγράφεται για το σολομό, για 12 εβδομάδες, ή το 75% και 100% χαρμάνι VO, για 62 εβδομάδες, δεν υπήρχαν σημαντικές επιδράσεις της διατροφής στο τελικό βάρος, SGR, TGC ή FCR (Kaushik & Corraze 2004, Richard et al. 2006). Αυτά τα δεδομένα υποστηρίζουν προγενέστερες μελέτες με πέστροφα και άλλα σολομοειδή όπου δεν παρατηρήθηκαν αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη με διαφορετικά υποκατάστατα FO, συμπεριλαμβανομένων του σογιέλαιου (SO), RO, OO, PO, LO και λαρδί (Dosanjh et al. 1988, Greene & Selivonchick 1990, Guillou et al. 1995, Caballero et al. 2002, Figueiredo-Silva et al. 2005, Fonseca-Madrugal et al. 2005). Καμία αύξηση στο τελικό βάρος της ιριδίζουσας πέστροφας δεν παρατηρήθηκε που τροφοδοτείται από VO χαρμάνι 100%. Στον σολομό, η ευεργετική επίδραση στην ανάπτυξη κατά τη διάρκεια την περίοδο του χειμώνα στη Νορβηγία μπορεί να οφείλεται στην αυξημένη πεπτικότητα του λιπαρού οξέος, και με τον τρόπο αυτό μικρή αύξηση της πρωτεΐνης, τα οποία οδηγούν σε βελτιωμένη ανάπτυξη σε χαμηλές θερμοκρασίες του νερού μικρότερη από 5°C. Αντίθετα, η δοκιμή στην ιριδίζουσα πέστροφα διεξήχθη σε σταθερή 17°C όπου οποιεσδήποτε διαφορές στην πεπτικότητα σε χαμηλή θερμοκρασία δεν θα είναι εμφανείς (Ng et al. 2004a).

Στο λαβράκι και στην τσιπούρα, η αντικατάσταση έως και 60% των FO με VO δεν είχε αρνητικές συνέπειες στην ανάπτυξη ή την μετατροφή της τροφής (Izquierdo et al. 2003, 2005. Mourente et al. 2005). Ωστόσο, η αντικατάσταση με 80% λινέλαιο ή 100% ενός μίγματος VO στην τσιπούρα μείωσε τους ρυθμούς ανάπτυξης (Izquierdo et al. 2003, 2005), αν και, με το μείγμα VO, η μείωση της ανάπτυξης δεν παρατηρήθηκε

σε ψάρια πάνω από 250 g, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι απαιτήσεις σε EFA στα μεγαλύτερα ψάρια ήταν λιγότερο αυστηρές από ό,τι στα μικρότερα ψάρια.

6.5 Επιδράσεις από την αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου στις αναπτυξιακές επιδόσεις

Η έρευνα για την αντικατάσταση των ιχθυαλεύρων (FM) έχει διεξαχθεί για πολλά χρόνια, και παρόλο που συχνά καθοδηγείται από την επιθυμία για πιο αποδοτικές πρώτες ύλες, πιο πρόσφατα, το επίκεντρο ήταν να εισαγάγει πιο βιώσιμες πρακτικές υδατοκαλλιέργειας. Γενικώς, παρά τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, τα χαμηλότερα επίπεδα ορισμένων βασικών αμινοξέων και την παρουσία αντι-θρεπτικών παραγόντων, η αντικατάσταση των περίπου 30% των ιχθυαλεύρων μπορεί να επιτευχθεί χωρίς απώλεια απόδοσης ανάπτυξης, ανάλογα με το βαθμό της βελτίωσης των προϊόντων (Teskeredzic et al. 1995, Medale et al. 1998, Glencross et al. 2004, Morris et al. 2005). Ορισμένες μελέτες έχουν διεξαχθεί με δίαιτες χωρίς ιχθυάλευρα, αλλά γενικά αυτές έχουν ως αποτέλεσμα την απώλεια της απόδοσης ανάπτυξης των ψαριών (Kaushik et al. 1995, Watanabe et al. 1998). Σε πρόσφατες μελέτες στην ιριδίζουσα πέστροφα, η αντικατάσταση του FM άνω του 75% οδήγησε σε μείωση της ανάπτυξης, καθώς και ορισμένες μεταβολές στις οργανοληπτικές ιδιότητες, ακόμα και αν το περιεχόμενο των αμινοξέων βελτιστοποιηθεί με προσθήκη κρυσταλλικών αμινοξέων (de Francesco et al. 2004). Ωστόσο, αυτό ήταν μια μεσοπρόθεσμη μελέτη σχεδόν 6 μηνών σε ρυθμούς ανάπτυξης, στρεσάροντας την υψηλών φυτικών πρωτεϊνών ομάδα μετά από την 12η εβδομάδα, το οποίο είναι παρόμοιο με το χρονικό διάστημα των πολλών μελετών που διεξάγονται σχετικά με την αντικατάσταση FM και

τονίζει την ανάγκη για τη διεξαγωγή μακροπρόθεσμων δοκιμών (de Francesco et al. 2004).

Σε γενικές γραμμές, ο σολομός του Ατλαντικού εμφανίζεται λιγότερο ικανός να αντιμετωπίσει τα υψηλά επίπεδα των φυτικών πρωτεϊνών, συγκριτικά με την ιριδίζουσα πέστροφα, που μπορεί να σχετίζεται με διαφορές στην πεπτική ικανότητα, καθώς και στην ευαισθησία σε διάφορους αντι-θρεπτικούς παράγοντες (Refstie et al 2000, Glencross et al 2004, Mundheim et al 2004). Ο σολομός που διατράφηκε από μια σειρά φυτικών πρωτεϊνών, με έλαιο σόγιας και γλουτένης αραβασίτου (2: 1 w: w), από 15% έως 65% αντικατάστασης του FM, έδειξε μία γραμμική μείωση στην ανάπτυξη με κάθε προσθήκη φυτικών πρωτεϊνών (Mundheim et al. 2004), αν και δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές στα SGR, TGC ή FCR.

Δίαιτες που αντικαθιστούν πλήρως τα ιχθυάλευρα με γλουτένη καλαμποκιού και πρωτεΐνη σόγιας παρουσίασαν σημαντική μείωση της ανάπτυξης στο ευρωπαϊκό λαβράκι (Dias 1999) σε σύγκριση με τις μελέτες που χρησιμοποιούν χαμηλότερα επίπεδα αντικατάστασης (Tibaldi et al 1999, Tulli et al. 1999). Μια πιο πρόσφατη μελέτη, στην οποία το λαβράκι ταΐστηκε μέχρι 98% της διατροφής του με άλευρα φυτικών πρωτεϊνών, δεν έδειξε μείωση της ανάπτυξης σε μια περίοδο 12 εβδομάδων (Kaushik et al. 2004), και, σε αντίθεση με προηγούμενες μελέτες (Gomes et al. 1995, Dias 1999), δεν υπήρχε μείωση της εθελοντικής πρόσληψης τροφής στη μελέτη των Kaushik et al. (2004). Στην τσιπούρα, προηγούμενες μελέτες έχουν δείξει ότι περίπου το ένα τρίτο των ιχθυαλεύρων θα μπορούσαν να αντικατασταθούν χωρίς μείωση των επιπέδων των απαραίτητων αμινοξέων ή μείωση του ρυθμού ανάπτυξης (Pereira & Oliva-Teles 2002, Gomez-Requeni et al. 2003). Ωστόσο, σε μια πιο πρόσφατη μελέτη επί 12 εβδομάδες, η τσιπούρα έδειξε μία ελαφρά μείωση της ανάπτυξης όταν

διατράφηκε με το 50 και το 75% από φυτικές πρωτεΐνες, αλλά και σημαντική μείωση της ανάπτυξης κατά 30% όταν διατράφηκε με 100% φυτικές πρωτεΐνες και αυτό συνδέθηκε με μία σημαντική μείωση στην πρόσληψη τροφής (Gomez-Requeni et al. 2004). Αντίθετα, μια πρόσφατη μακροπρόθεσμη δοκιμή έδειξε ότι το 75% χορήγησης φυτικών πρωτεϊνών δεν είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της ανάπτυξης (Sitja-Bobadilla et al. 2005).

Στο καλκάνι (*Psetta maxima*), μελέτες είτε με γλουτένη καλαμποκιού ή με λούπινο έχουν δείξει ελπιδοφόρα αποτελέσματα ως υποκατάστατα του ιχθυαλεύρου αν και παρατηρήθηκε μειωμένη πρόσληψη τροφής (Burel et al. 2000a, b). Σε μια προσπάθεια για μια πιο ισορροπημένη διαιτητική σύσταση αμινοξέων (Fournier et al. 2004) δόθηκε ένα μίγμα από λούπινο, σιτάρι και γλουτένη αραβοσίτου με συμπληρωματικά κρυσταλλικά αμινοξέα και έδειξε ότι ο ρυθμός ανάπτυξης στο καλκάνι τέθηκε σε κίνδυνο μόνο όταν χορηγείται δίαιτα με 90 ή 100% αντικατάστασης του ιχθυαλεύρου πάνω από 12 εβδομάδες.

Η ένταξη των υψηλών επιπέδων φυτικών πρωτεϊνών μπορεί να περιοριστεί από την παρουσία ANFs (αντι-θρεπτικών παραγόντων) συμπεριλαμβανομένων αναστολέων πρωτεάσης, φυτικού οξέος, γλυκοζινολικών, ταννίνες, λεκτίνες, φυτοοιστρογόνα και αντιβιταμινών μεταξύ άλλων (Francis et al. 2001). Σε επιμέρους επίπεδα υπό ένταξη προϊόντος σε ιχθυοτροφές, πολλοί από αυτούς τους παράγοντες δεν θα πρέπει να επηρεάζουν την ανάπτυξη των επιδόσεων και μερικοί μπορεί να μειωθούν ή να εξαλειφθούν με εκχύλιση με διαλύτη, εξώθηση ατμού ή ενζυματική κατεργασία. Αυτοί οι αντι-διατροφικοί παράγοντες μπορούν να μειώσουν την ανάπτυξη επηρεάζοντας την γευστικότητα και την μείωση της πρόσληψης τροφής ή την περιορισμένη ικανότητα πέψης. Άλλωστε, αυτές οι άμεσες επιπτώσεις στην παροχή και τη χρησιμοποίηση

θρεπτικών συστατικών, έχουν έμμεσες τοξικές με βλάβη των οργάνων και των ενδοκρινικών διαταραχών να είναι εμφανείς για μερικές ANFs. Η αυξημένη χρήση των φυτικών πρωτεϊνών στην υδατοκαλλιέργεια απαιτεί περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το ποιοι παράγοντες είναι παρόντες στο συγκεκριμένο φυτικό άλευρο, έτσι ώστε τα μέτρα για τον περιορισμό των συνεπειών τους, μπορούν να επιτευχθούν με κατάλληλες τεχνικές επεξεργασίας.

Μια άλλη ανησυχία σχετικά με τις φυτικές πρωτεΐνες είναι η παρουσία γενετικά τροποποιημένων (ΓΤ) προϊόντων, που χρησιμοποιούνται σήμερα για την παραγωγή χερσαίων ζώων, ιδιαίτερα εκείνων που προέρχονται από σόγια, ελαιοκράμβη και ο αραβόσιτο (Pusztai και Bardocz 2006). Ωστόσο, οι μελέτες που διεξήχθησαν με σολομό Ατλαντικού δείχνουν ότι ενώ μικρές διαγονιδιακές αλληλουχίες (~ 120 bp) μπορούν να ανιχνευθούν σε ιστούς του εντέρου, δεν έχουν βρεθεί διαγονιδιακά κατάλοιπα στο ήπαρ, μυς ή στον εγκέφαλο (Sanden et al. 2004). Για το λόγο αυτό, δεν πρέπει να υπάρχει κίνδυνος διαγονιδιακού φυτικού υλικού που να εισέρχεται στην ανθρώπινη τροφική αλυσίδα από την κατανάλωση σολομού διατρεφόμενο με ΓΤ προϊόντα.

6.6 Σύσταση των λιπαρών οξέων των φιλέτων των εκτρεφόμενων ιχθύων

Πολυάριθμες μελέτες, σε ένα ευρύ φάσμα ειδών ψαριών, έχουν δείξει ότι η σύσταση των λιπαρών οξέων των φιλέτων των εκτρεφόμενων ιχθύων συσχετίζεται στενά με τη σύσταση των διαιτητικών λιπαρών οξέων και ότι η διατροφή με υψηλά επίπεδα φυτικών ελαίων (VO) θα επηρεάσει έντονα τη σύσταση των λιπαρών οξέων των φιλέτων (Bell et al. 2004a, Izquierdo et al. 2003, Caballero et al. 2002, Mourente et al. 2005, Visentainer et al. 2005, Glencross et al. 2003). Ωστόσο, η επίδραση των διαιτητικών λιπιδίων στα λιπαρά οξέα της σάρκας σχετίζεται επίσης με τη συνολική

περιεκτικότητα σε λιπίδια του φιλέτου αλλά και της αναλογίας ουδέτερων/πολικών λιπιδίων (Sargent et al. 2002). Σε αυτό το πλαίσιο, η σειρά κατάταξης της περιεκτικότητας των λιπιδίων στη σάρκα των ιχθύων είναι σολομός> πέστροφα> τσιπούρα> λαβράκι> γάδος και η εναπόθεση λίπους στη σάρκα τείνει να αυξάνεται με το βάρος ψαριών, ειδικά του σολομού (Hemre & Sanchez 1999, Torstensen et al. 2001).

Αρκετές μελέτες στο σολομό με μια σειρά από φυτικά έλαια συμπεριλαμβανομένων του κραμβέλαιου (RO), του φοινικέλαιου (PO), του λινέλαιου και του ιχθυελαίου έχουν δείξει μια σαφή γραμμική σχέση μεταξύ της σύστασης των λιπαρών οξέων της δίαιτα με εκείνα της σάρκας των ιχθύων (Rosenlund et al. 2001, Torstensen et al. 2001, 2004a, Bell et al. 2001a, 2002, 2003a). Τα στοιχεία από μελέτες στο σολομό, και παρόμοιες μελέτες με άλλα είδη, επιβεβαιώνουν ότι τα λιπαρά οξέα διατηρούνται ή μεταβολίζονται επιλεκτικά ανάλογα με τη συγκέντρωσή τους στην τροφή και τον φυσιολογικό ρόλο του κάθε λιπαρού οξέος. Ένα από τα πιο εντυπωσιακά αποτελέσματα, σε όλα τα είδη, είναι η κατά προτίμηση εναπόθεση και συγκράτηση του DHA στη σάρκα των ψαριών, ανεξάρτητα από τη συγκέντρωση που υπάρχει αυτό στην τροφή. Αυτή η επιλεκτικότητα αντικατοπτρίζει πιθανώς την εξειδίκευση κάποιων ενζύμων που ενσωματώνουν μεμονωμένα λιπαρά οξέα στα λιπίδια της σάρκας των ψαριών και αυτό το φαινόμενο έχει παρατηρηθεί σε μελέτες με σολομό όπου του χορηγήθηκαν τροφές πλούσιες σε φυτικά έλαια (Torstensen et al. 2000, Bell et al. 2001a, 2002, 2003, Rosenlund et al. 2001), όπως φαίνεται στον πίνακα 7.

Σε σύγκριση με το DHA, τα άλλα PUFA και HUFA φαίνεται να κατευθύνονται περισσότερο προς το μεταβολισμό, πιθανώς να καταβολίζονται σε μεγάλο βαθμό για την παραγωγή ενέργειας και όχι εναπόθεση, ειδικά όταν είναι παρόντα σε υψηλές συγκεντρώσεις στην τροφή. Όταν υπάρχουν σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις στην

τροφή, μόνο το EPA φαίνεται να διατηρείται επιλεκτικά στη σάρκα των ψαριών, όπως αποδεικνύεται από τις υψηλότερες τιμές του σε ψάρια που διατράφηκαν με 100% LO (Πίνακας 7). Σε αντίθεση, τα 18: 2ω-6 και ιδιαίτερα 18: 3ω-3 εναποτέθηκαν κατά προτίμηση στη σάρκα. Η τάση προς τον κατά προτίμηση μεταβολισμό των C18 PUFA μέσω β-οξειδωσης έχει παρατηρηθεί μόνο στα ψάρια (Bell et al. 2001b, Bell et al. 2003c), ενώ στον άνθρωπο το 18: 3ω-3 προτιμάται έναντι του 18: 2ω-6 ως οξειδωτικό υπόστρωμα (Delany et al. 2000). Ωστόσο, θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι τα 18: 2ω-6 και 18: 3ω-3 είναι υποστρώματα για Δ6-αποκορεσμό (Bell et al. 1997, Ruyter et al. 2003). Εκτός από τα PUFA, τα μακράς αλυσίδας μονοακόρεστα λιπαρά οξέα (20: 1 & 22: 1), αποτελούν σημαντικά καταβολικά υποστρώματα (Sargent et al. 2002). Αυτό φαίνεται να επιβεβαιώνεται σε μελέτες στα σολομοειδή που τρέφονται με έλαιο καπελάνου, ως πηγή των 20: 1 και ιδιαίτερα 22: 1. Σε πρόσφατες μελέτες, το 16: 0 εναποτίθεται επιλεκτικά στη σάρκα, γεγονός που υποδηλώνει ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ως καταβολικό υπόστρωμα (Bell et al. 2003a, 2004, Πίνακας 11). Συγκριτικά, το 18:1ω-9 χρησιμοποιείται επιλεκτικά, εκτός όταν είναι παρόν σε υψηλές συγκεντρώσεις στην τροφή (Torstensen et al 2004a, b). Είναι γενικά αποδεκτό ότι το DHA επιλεκτικά συγκρατείται λόγω της βιολογικής σημασίας αυτού του λιπαρού οξέος στην λειτουργική ακεραιότητα της κυτταρικής μεμβράνης, ιδιαίτερα σε νευρωνικά κύτταρα και κατά την αναπαραγωγή (Sargent et al. 2002). Η επιλεκτική εναπόθεση των 16: 0 και 18: 1ω-9, αντί για την κινητοποίηση, μπορεί να αντανάκλα τη δομική σημασία και των δύο αυτών λιπαρών οξέων στα φωσφολιπίδια της μεμβράνης, όπου βρίσκονται συχνά στη θέση sn-1, ειδικά σε PC και PE, με PUFA και HUFA που ευνοούνται στη θέση sn-2 (Bell & Dick 1991, Sargent et al. 2002).

Πίνακας 11: Οι διαφορές (Δ) μεταξύ των συνολικών τιμών σάρκα λιπιδίων λιπαρών οξέων διατροφή και για το σολομό τροφοδοτούνται 100% ιχθυέλαιο, το 50% λινέλαιο (LO), 100% LO, 33% κραμβέλαιο (RO) και 100 δίαιτες% RO.

Λιπαρά οξέα	Δ 100% FO	Δ 50% LO	Δ 100% LO	Δ 33% RO	Δ 100% RO
16: 0	0,8	1,4	2,2	0,8	1,7
18: 1 ω -9	4,1	2,5	1,6	-1,8	-6,8
18: 2 ω -6	-0,3	-1,2	-2,0	-1,0	-3,3
18: 3 ω -3	-0,1	-5,5	-11,7	-0,9	-2,1
20: 1 ω -9	-1,3	-0,3	0,5	-0,2	0,9
22:1 ω -11	-3,4	-1,7	0,0	-1,2	-0,7
20: 5 ω -3	-1,6	-1,0	0,3	-1,7	-0,4
22: 6 ω -3	3,1	1,9	1,6	1,3	2,1
Δεδομένα από Bell et al. 2003, 2004. Οι συγκεντρώσεις λιπαρών οξέων είναι g /100 g λιπαρών οξέων στο κρέας και διατροφή. Αρνητικές τιμές Δ δείχνουν χαμηλότερες τιμές σε κρέας σε σχέση με τη διατροφή, ενώ οι θετικές τιμές σημαίνουν συσσώρευση σε κρέας σε σχέση με τη διατροφή.					

Τα οφέλη για την υγεία του ανθρώπου από την κατανάλωση ψαριών, που σχετίζονται με το περιεχόμενο ω -3 HUFA, είναι πλέον ευρέως αναγνωρισμένα (Σιμόπουλος 1999, Connor 2000) και είναι σημαντικό η υδατοκαλλιέργεια να παράγει ένα προϊόν υψηλής θρεπτικής αξίας συγκρίσιμο με εκείνο από την συλλεκτική αλιεία. Ωστόσο, στοιχεία από διάφορες μελέτες δείχνουν ότι όταν τα ψάρια εκτρέφονται με δίαιτες που περιέχουν VO, ειδικά σε επίπεδα άνω του 50%, τότε υπάρχουν σημαντικές

μειώσεις των EPA και DHA στη σάρκα (Πίνακας 12, Bell et al. 2004, Torstensen et al. 2004, Menoyo et al. 2004, Mourente et al. 2005). Για να ξεπεραστεί αυτό, τα ψάρια μπορεί να διατραφούν με μια τελική δίαιτα που περιέχει FO για κάποιο χρονικό διάστημα πριν από τη συγκομιδή για να αποκαταστήσει τα επίπεδα των ω -3 HUFA. Σε γενικές γραμμές, η ικανότητα για την αποκατάσταση των συγκεντρώσεων των EPA και DHA στη σάρκα των ψαριών είναι πιο εύκολο να επιτευχθεί από την μείωση των 18:2 ω -6 και 18:3 ω -3 στην τροφή (Bell et al. 2004, Torstensen et al. 2004b, Mourente et al. 2005, Izquierdo et al. 2005). Στον σολομό και τη πέστροφα, αν και τα επίπεδα DHA και EPA ήταν ακόμα σημαντικά χαμηλότερα, μετά από 24 και 12 εβδομάδες με μια FO-δίαιτα, αντιστοίχως, οι τιμές που επιτεύχθηκαν ήταν τουλάχιστον 80% των τιμών των ψαριών που τρέφονταν με FO από την αρχή της εκτροφής. Στο σολομό, τα DHA και EPA στη σάρκα των ψαριών αποκαταστάθηκαν σε μεγάλο βαθμό μετά από 24 εβδομάδες (Bell et al. 2004a), ενώ για το λαβράκι και την τσιπούρα η αποκατάσταση των EPA και DHA θα μπορούσε να επιτευχθεί σε μεγάλο βαθμό σε 14 εβδομάδες (Mourente et al 2005, Izquierdo et al 2005).

Πίνακας 12: Σύσταση λιπαρών οξέων της σάρκας (% κατά βάρος του συνόλου των λιπαρών οξέων) στο σολομό, λαβράκι και τσιπούρα έπειτα από διατροφή με δίαιτες που περιείχαν διαφορετικά επίπεδα κραμβέλαιου (RO) ή λινέλαιου (LO) σε σχέση με το ιχθυέλαιο (FO)

Είδη & Διατροφή / λιπαρών οξέων	18:2ω-6	18:3ω-3	20:5ω-3	22:6ω-3
Σολομός				
100% FO	3,9	0,8	4,3	8,1
100% LO	13,1	38,7	1,3	3,1
100% RO	15,0	5,1	1,7	4,9
Λαβράκι				
100% FO	3,0	1,0	9,6	20,2
60% LO	5,7	8,4	5,7	14,4
60% RO	8,5	2,7	5,0	9,4
Φαγκρί				
100% FO	5,5	0,8	9,1	7,3
60% LO	10,4	17,7	3,5	4,6
60% RO	12,9	3,4	3,6	4,9

Δεδομένα από Bell et al. 2004, Torstensen et al. 2004, Mourente et al. 2005, Izquierdo et al. 2005

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα ιχθυάλευρα και ιχθυέλαια αποτελούν σημαντικές πρώτες ύλες για τον καταρτισμό πλήρως ισορροπημένων σιτηρεσίων παρέχοντας κυρίως υψηλής βιολογικής αξίας πρωτεΐνες και ω-3 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, αντίστοιχα, στη διατροφή των εκτρεφόμενων ειδών ιχθύων. Ωστόσο, η στασιμότητα της παγκόσμιας παραγωγής αυτών των φυσικών πόρων απειλούν την περαιτέρω ανάπτυξη του κλάδου των υδατοκαλλιεργειών και την ίδια την βιωσιμότητα του κλάδου. Ο κλάδος, εδώ και δεκαετίες, επιχειρεί την επιτυχή αντικατάσταση αυτών με άλλες πρωτεϊνικές και λιπιδικές πηγές κυρίως φυτικής προέλευσης και πρόσφατα ζωικής προέλευσης. Η μέχρι σήμερα επιτυχία στην αντικατάσταση των ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων στις ιχθυοτροφές έχει μειώσει σημαντικά τα επίπεδα χορήγησης αυτών των προϊόντων στα σιτηρέσια των κυριότερων εκτρεφόμενων ειδών ιχθύων με αποτέλεσμα και τη μείωση του κόστους διατροφής. Ωστόσο, παραμένει επιτακτική η ανάγκη διερεύνησης περαιτέρω μείωσης των επιπέδων τους στις ιχθυοτροφές και παράλληλα διερεύνησης των επιδράσεων αυτών των πρακτικών στη γενικότερη φυσιολογία των ιχθύων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βουλτσιάδου, Ε., Αμπατζόπουλος, Θ., Αντωνοπούλου, Ε., Γκάνιας, Κ., Γκέλης, Σ., Στάικου, Α., Τριανταφυλλίδης, Α., (2015).** Υδατοκαλλιέργειες. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.
- Γιαννηκότσιου Ν, 2010.** Οι απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά της τιλάπιας του Νείλου (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1758). Προπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστήμων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος.
- Ελληνική Υδατοκαλλιέργεια 2015.** Σύνδεσμος Ελληνικών Θαλασσοκαλλιεργειών Διαθέσιμο ηλεκτρονικά http://www.agora.mfa.gr/appdata/annual_report_2015.20161793540.pdf (τελευταία πρόσβαση 15-09-2016)
- ΕΛΣΤΑΤ, 2014.** <http://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SPA06/-> τελευταία πρόσβαση 15-09-2016)
- Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Αλιείας 2007-2013.** ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ & ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΠΡΟΓΡ/ ΜΟΥ & ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ Γ ΚΠΣ. Διαθέσιμο ηλεκτρονικά http://ec.europa.eu/fisheries/cfp/eff/op/list_of_operational_programmes/greece_01_e1.pdf (τελευταία πρόσβαση 15-09-2016)
- Καραπαναγιωτίδης Ι. (2015),** Τεχνολογία Ιχθυοτρόφων. ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ Βόλος.
- Παπουτσόγλου Σ. (1997),** Εισαγωγή στις Υδατοκαλλιέργειες. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.
- Παπουτσόγλου Σ. (2008),** Διατροφή Ιχθύων, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.
- Περδικάρης Κ., Κ.Ναθαναηλίδης, Ε. Γκούβα, Α. Εργολάβου, Γ. Πάσχος. (2006).** Παραγωγή Ιχθύων Γλυκού Νερού. ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ. ΤΜΗΜΑ ΙΧΘΥΟΚΟΜΙΑΣ - ΑΛΙΕΙΑΣ

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bathena S.J (2000)**, Relationship between fatty acids and the endocrine system, *Bio Factors* 13 (1-4):35-39
- Becker E. W.**, “Micro-algae as a source of protein.,” *Biotechnology Advances*, vol. 25, no. 2, pp. 207–210, 2007.
- Bell J.G and R. Waagbø Bell JG, Henderson RJ, Tocher DR, McGhee F, Dick JR, Porter A, Smullen RP, Sargent JR (2002)** Substituting fish oil with crude palm oil in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects muscle fatty acid composition and hepatic fatty acid metabolism. *Journal of Nutrition* 132: 222–230
- Bell JG, Cowey CB (1989)** Digestibility and bioavailability of dietary selenium from fishmeal, selenite, selenomethionine and selenocystine, in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 81: 61–68.
- Bell JG, Henderson RJ, Tocher DR, Sargent JR (2004a)** Replacement of dietary fish oil with increasing levels of linseed oil: Modification of flesh fatty acid compositions in Atlantic salmon (*Salmo salar*) using a fish oil finishing diet. *Lipids* 39: 223–232
- Bell JG, MacKinlay EE, Dick JR, MacDonald DJ, Boyle RM, Glen ACA (2004b)** Essential fatty acids and phospholipase A2 in autistic spectrum disorders. Prostaglandins, Leukotrienes and Essent. Fatty Acids 71: 201–204
- Bell JG, McEvoy J, Tocher DR, McGhee F, Campbell PJ, Sargent JR (2001)** Replacement of fish oil with rapeseed oil in diets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects tissue lipid compositions and hepatocyte fatty acid metabolism. *Journal of Nutrition* 131: 1535–1543
- Bell JG, McGhee F, Campbell PJ, Sargent JR (2003b)** Rapeseed oil as an alternative to marine fish oil in diets of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*): changes in flesh fatty acid composition and effectiveness of subsequent fish oil “wash out”. *Aquaculture* 218: 515–528
- Bell JG, McGhee F, Dick JR, Tocher DR (2005)** Dioxin and dioxin-like polychlorinated biphenyls (PCBs) in Scottish farmed salmon (*Salmo salar*): effects of replacement of dietary marine fish oil with vegetable oils. *Aquaculture* 243: 305–314
- Bell JG, McVicar, AH, Park, MT, Sargent, JR (1991)** High dietary linoleic acid affects the fatty acid compositions of individual phospholipids from tissues of

- Atlantic salmon (*Salmo salar*): association with stress susceptibility and cardiac lesion. *Journal of Nutrition* 121: 1163–1172
- Bell JG, Tocher DR, Farndale BM, Cox DI, McKinney RW, Sargent JR (1997).** The effect of dietary lipid on polyunsaturated fatty acid metabolism in Atlantic salmon (*Salmo salar*) undergoing parr-smolt transformation. *Lipids* 32: 515–525
- Bell JG, Tocher DR, Henderson RJ, Dick JR, Crampton VO (2003a)** Altered fatty acid compositions in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets containing linseed and rapeseed oils can be partially restored by a subsequent fish oil finishing diet. *Journal of Nutrition* 133: 2793–2801
- Bell JG, Youngson A, Mitchell AI, Cowey CB (1989)** The effect of enhanced intake of linoleic acid on the fatty acid composition of tissue polar lipids of post smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Lipids* 24: 240–242
- Bell MV, Dick JR (1991)** Molecular species composition of the major diacyl glycerophospholipids from muscle, liver retina, and brain of cod (*Gadus morhua*). *Lipids* 26: 565–573
- Bell MV, Dick JR, Porter AEA (2001b)** Biosynthesis and tissue deposition of docosahexaenoic acid (22:6n-3) in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Lipids* 36: 1153–1159
- Bell MV, Dick JR, Porter AEA (2003c)** Pyloric ceca are a major site of 22:6n-3 synthesis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Lipids* 39: 39–44
- Bendiksen EÅ, Berg OK, Jobling M, Arnesen AM, Måsøval K (2003)** Digestibility, growth and nutrient utilisation of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in relation to temperature, feed fat content and oil source. *Aquaculture*, 224: 283–299
- Berntssen MHG, Lundebye A-K, Torstensen BE (2005)** Reducing the levels of dioxins and dioxin-like PCBs in farmed Atlantic salmon by substitution of fish oil with vegetable oil in the feed. *Aquaculture Nutrition* 11: 219–231
- Berg J.M., Tymoczko L and Stryer L (2001),** Βιοχημεία, Ηράκλειο Κρήτης, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης
- Beveridge, M. and Mc Andrew, M. (2000).** Tilapias: Biology and Exploitation. Kluwer Academic Publishers. Fisheries series 25. 327-348
- Caballero MJ, Obach A, Rosenlund G, Montero D, Gisvold M, Izquierdo MS (2002)** Impact of different dietary lipid sources on growth, lipid digestibility, tissue

fatty acid composition and histology of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 214: 253–271

Chamberlain, A. (2011). Fishmeal and Fish Oil – The Facts , Figures , Trends , and IFFO ’ s Responsible Supply Standard. Production. International Fishmeal & Fish Oil Organisation.

COM/2013/229. Διαθέσιμο ηλεκτρονικά
http://ec.europa.eu/fisheries/cfp/aquaculture/official_documents/com_2013_229_el.pdf
 (τελευταία πρόσβαση 15-09-2016)

Cuillaume, J., Kaushik S., Bergot R. and Metailler R. (2001), Nutrition and Feeding of Fish and Crustaceans. Springer Verlag. P. 404-405

Dosanjh BS, Higgs DA, Plotnikoff MD, Markert JR, Buckley JT (1988) Preliminary evaluation of canola oil, pork lard and marine lipid singly and in combination as supplemental dietary lipid sources for juvenile fall Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquaculture* 68: 325–343

El-Sayed. A.- F.M. (1999) Alternative dietary protein sources for farmed tilapia. *Oreochromis spp.* *Aquaculture* 179, 149-168

Ernst M. and G. Breuer (2016). Ευρωπαϊκή υδατοκαλλιέργεια. Διαθέσιμο ηλεκτρονικά
http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/el/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.3.7.html
 (τελευταία πρόσβαση 15-09-2016)

Eurostat Διαθέσιμο ηλεκτρονικά: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Fishery_statistics (τελευταία πρόσβαση 15-09-2016)

FAO, 2014. The State of World Fisheries and Aquaculture Opportunities and challenges. Διαθέσιμο ηλεκτρονικά <http://www.fao.org/3/a-i3720e.pdf> (τελευταία πρόσβαση 15-09-2016)

FAO, 2015. Global Aquaculture Production statistics database updated to 2013. Summary information. Fisheries and Aquaculture Department. Διαθέσιμο ηλεκτρονικά <http://www.fao.org/3/a-i4899e.pdf> (τελευταία πρόσβαση 15-09-2016)

Fonseca-Madriral J, Karalazos V, Campbell PJ, Bell JG, Tocher DR (2005) Influence of dietary palm oil on growth, tissue fatty acid compositions, and fatty acid

- metabolism in liver and intestine in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture Nutrition 11: 241–250
- Fountoulaki E.M., Alexis, Nengas I. and Venou B (2003)**, Effects of dietary arachidonic acid (20:4n-6), on growth, body composition, and tissue fatty acid profile of gilthead bream fingerling (*Sparus aurata* L), Aquaculture 225:309-323
- Gouveia L.**, Microalgae as a feedstock for biofuels. Springer, 2011.
- Greene DHS, Selivonchick DP (1990)** Effects of dietary vegetable, animal and marine lipids on muscle lipid and haematology of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 89: 165–182
- Guillou A, Soucy P, Khalil M, Adambounou L (1995)** Effects of dietary vegetable and marine lipid on growth, muscle fatty acid composition and organoleptic quality of flesh of brook charr (*Salvelinius fontalis*). Aquaculture 136: 351–329
- Guimaraes. I, Pezzato, and Barros. M. (2008)** Animo acid availability and protein digestibility of several protein sources for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Aquaculture Nutrition (14): 396-404
- Hardy RW, Scott TM, Harrell LW (1987)** Replacement of herring oil with menhaden oil, soybean oil, or tallow in the diets of Atlantic salmon raised in marine net-pens. Aquaculture 65: 267–277
- Hasan, M.R. (2001)**, Nutrition and Feeding for Sustainable Aquaculture Development in the Third Millennium. FAQ CORPORATE DOCUMENT REPOSITORY. Pp 193-219)
- Higgs D. and Dong F (2000)**, Lipids and fatty acids, Encyclopedia of Aquaculture, 475-496
- Izquierdo MS, Montero D, Robaina L, Caballero MJ, Rosenlund G, Gines R (2005)** Alterations in fillet fatty acid profile and flesh quality in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) fed vegetable oils for a long term period. Recovery of fatty acid profiles by fish oil feeding. Aquaculture 250: 431–444
- Izquierdo MS, Obach A, Arantzamendi L, Montero D, Robaina L, Rosenlund G (2003)** Dietary lipid sources for sea bream and sea bass: growth performance, tissue composition and flesh quality. Aquaculture Nutrition 9: 397–407
- Jauncey K. (1998)**, Tilapia Feeds and Feeding. 2nd Edition. Pisces Press LTD, Stirling Scotland p. 235.

- Kaushik S, Corraze G (2004)** Substitution des huiles de poisson dans les aliments pour poissons. *AquaFilia* 2: 5–9
- Kaushik SJ, Coves D, Dutto G, Blanc D (2004)** Almost total replacement of fish meal by plant protein sources in the diet of a marine teleost, the European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture* 230: 391–404
- Kaushik SJ, Cravedi JP, Lalles JP, Sumpter J, Fauconneau B, Laroche M (1995)** Partial or total replacement of fishmeal by soybean protein on growth, protein utilisation, potential estrogenic or antigentic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 133: 257–274
- Lovell. T, (1980),** Feeding tilapia. *Aquaculture Magazine* 7, 42-43 In: Webster C.D. and Lim C.E. (2002) *Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for aquaculture*. CAB International 273-292
- Lovell. T, (1989),** Nutrition and Feeding of fish. Van Nostrand Reinhold pp 4-5
- Makkar, H.P.S.; Tran, G.; Heuzé, V.; Ankers, P. (2014).** State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, Volume 197, 1 - 33
- Matthews, J.C. (2000)** Amino acid and peptide transport systems. In: Amino acid availability and protein digestibility of several protein sources for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Nutrition* (14): 396-404
- Murry Mc J (2005),** Βιομόρια: Λιπίδια, Οργανική Χημεία, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης 2:1345-1379
- Ng W-K, Sigholt T, Bell JG (2004a)** The influence of environmental temperature on the apparent nutrient and fatty acid digestibility in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed finishing diets containing different blends of fish oil, rapeseed oil and palm oil. *Aquaculture Research* 35: 1228–1237
- Ng W-K, Wang Y, Ketchimenin P, Yuen K-H (2004b)** Replacement of dietary fish oil with palm fatty acid distillate elevates tocopherol and tocotrienol concentrations and increases oxidative stability in the muscle of African catfish (*Clarias gariepinus*). *Aquaculture* 233: 423–437
- Nguyen T.N. and Davis D.A. (2009).** Methionine requirement in practical diets of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, *Journal of the world aquaculture society* 3 (40): 410-416

- NRC (National Research Council) (1983).** Nutrient Requirement of Warmwater Fishes and Shellfishes. In: Webster, C.D. and Lim, C.E. (2002), Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture. CABI publishing, 273-292
- Ogunji and Wirth, (2002).** Influence of dietary protein deficiency on growth, amino acid and fatty acid composition of tilapia *Oreochromis niloticus* fingerlings. Israeli Journal of Aquaculture – Bamidag 54 (2): 57-65
- Refstie S, Korsoen OJ, Storebakken T, Baeverfjord G, Lein I, Roem AJ (2000)** Differing nutritional responses to dietary soybean meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture 190: 49–63
- Sargent J, Tocher and Bell J (2002),** The lipids. Fish nutrition. J. Halver and R. Hardy, San Diego, USA, Academic Press, 181-257
- Shiau, S-Y. and Peng, C-Y (1993)** Protein – sparing effect by carbohydrates in diets for tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*. Aquaculture (117): 327-334
- Sitja-Bobadilla A, Pena-Llopis S, Gomez-Requeni P, Medale F, Kaushik S, Perez-Sanchez J (2005)** Effect of fishmeal replacement by plant protein sources on non-specific defence mechanisms and oxidative stress in gilthead seabream (*Sparus aurata*). Aquaculture 249, 387–4
- Steffens W, (1989),** Principles of Fish Nutrition. Ellis Horwood Limited, London, 384 p
- Stirling (2004).** European Commission, Directorate General of Fisheries, 2004. Study on the market for the aquaculture produced sea bass and sea bream species (Fish/2003/05). University of Stirling, Department of Marketing & Institute of Aquaculture. Report to the European Commission, DG Fisheries. Final Report, 23rd April 2004. Διαθέσιμο ηλεκτρονικά: http://ec.europa.eu/fisheries/documentation/studies/aquaculture_market_230404_en.pdf (τελευταία πρόσβαση 15-09-2016).
- Tacon A, Hasan M. and Subasinghe R (2006),** Use of fishery resources as feed inputs for aquaculture development: trends and policy implications, 1018: 99
- Tacon A.G.J. and Metian M (2008),** Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects, Aquaculture 285 (1-4): 146-158

- Tanskanen A, Hibbeln J.R., Hintikka J., Haatainen K., Honkalampi K. and Viinamaki H. (2001)**, Fish consumption depression, and suicidality in a general population, *Archives of General Psychiatry* 58 (5): 512-513
- Teskeredzic Z, Higgs DA, Dosanjh BS, McBride JR, Hardy RW, Beames RM, Jones JD, Simell M, Vaara T, Bridges RB (1995)** Assessment of undephytinised and dephytinised rapeseed protein concentrate as sources of dietary protein for juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 131: 261–277
- Torstensen BE, Bell JG, Sargent JR, Rosenlund G, Henderson RJ, Graff IE, Lie Ø Tocher, DR (2005)** Tailoring of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) flesh lipid composition and sensory quality by replacing fish oil with a vegetable oil blend. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 10166–10178
- Turchini G.M., Torstensen B.E. and W.K.Kg (2009)**, Fish oil replacement in finfish nutrition, *Reviews in Aquaculture*, 10-57
- Walker, T. L. C. Collet, and S. Purton**, “Algal transgenics in the genomic era1.,” *Journal of Phycology*, vol. 41, no. 6, pp. 1077–1093, Nov. 2005
- Watanabe T (1977)** Sparing action of lipid on dietary protein in fish. Low protein diet with high calorie content. *Technocrat* 10: 34–39
- Watanabe T, Verakunpiriya V, Watanabe K, Viswanath K, Satoh S (1998)** Feeding rainbow trout with non-fishmeal diets. *Fisheries Science* 63: 258–266
- Webster, C.D. and Lim, C.E. (2002)**. *Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture*. CABI publishing. 273-292

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

gaiapedia1

<http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/%CE%A5%CE%B4%CE%B1%CF%84%CE%BF%CE%BA%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B9%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1> (τελευταία πρόσβαση 15-09-2016)

gaiapedia2

http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/%CE%95%CE%BB%CE%B1%CE%B9%CE%BF%CE%BA%CF%81%CE%AC%CE%BC%CE%B2%CE%B7_%CF%86%CF%85%CF%84%CF%8C

IFFO: <http://www.iffonet.net/production>

ABSTRACT

The aquaculture sector contributes significantly to the primary sector of Greece. Since decades, marine fish farming develops steadily due to the suitable climate conditions, extensive coastline, technological development in areas such as nutrition and reproduction of fish, but also due to the international and European investment in this activity. However, the Greek aquaculture sector as well as the global aquaculture sector is threatened by the shortage of fishmeal and fish oil that are currently used as the basic feed ingredients in fish diets. Thus, the replacement of fishmeal and fish oil in fish diets would contribute to the sustainability and strength of the aquaculture industry. Exploring replacement levels of these natural resources in fish diets is necessary to achieve aquaculture sustainability.

Key words: fishmeal, fish oil, fish feeds